



**UNIVERSIDADE FEDERAL DE SANTA CATARINA**  
**CENTRO TECNOLÓGICO**

**PROGRAMA DE PÓS GRADUAÇÃO EM ENGENHARIA CIVIL**

**MÉTODO DE ELABORAÇÃO DE MAPA INTERATIVO DE  
SUGESTÃO DE USO DO ESPAÇO COM APOIO DA LÓGICA  
DIFUSA**

**Doutorando: EDGARD FERNANDES**

**Orientadora: Prof<sup>ª</sup>. Dra. LIA CAETANO BASTOS**

**Co-Orientador: Prof. Dr. RENATO de MELLO**

Tese apresentada ao Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil da Universidade Federal de Santa Catarina como requisito à obtenção do grau de Doutor em Engenharia Civil.

**Florianópolis, Setembro de 2009**

Catálogo na fonte pela Biblioteca Universitária da  
Universidade Federal de Santa Catarina

F363m Fernandes, Edgard

Método de elaboração de mapa interativo de sugestão  
de uso do espaço com apoio da lógica difusa [tese]

/ Edgard Fernandes ; orientadora, Lia Caetano Bastos.

- Florianópolis, SC, 2009.

139 f.: il., mapas

Tese (doutorado) - Universidade Federal de Santa  
Catarina, Centro Tecnológico. Programa de Pós-Graduação  
em Engenharia civil.

Inclui referências

1. Engenharia civil. 2. Lógica difusa. 3. SIG. 4. Mapa  
interativo de sugestão do uso do espaço. 5. Soft Decision  
Trees. 6. Gestão territorial. I. Bastos, Lia Caetano. II.  
Universidade Federal de Santa Catarina. Programa de Pós-  
Graduação em Engenharia civil. III. Título.

CDU 624

# **MÉTODO DE ELABORAÇÃO DE MAPA INTERATIVO DE SUGESTÃO DE USO DO ESPAÇO COM APOIO DA LÓGICA DIFUSA**

**EDGARD FERNANDES**

Tese apresentada para a obtenção do Título de DOUTOR em Engenharia Civil e aprovada em sua forma final pelo Programa de Pós-Graduação em Engenharia Civil – PPGEC da Universidade Federal de Santa Catarina – UFSC, em 18/09/2009.

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Janaide Cavalcante Rocha  
Coordenadora do PPGEC

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Lia Caetano Bastos  
Orientadora

## **COMISSÃO EXAMINADORA**

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup>. Lia Caetano Bastos  
Moderadora – ECV/UFSC

---

Prof. Dr. Renato de Mello  
Co-orientador  
Univ. do Est. de Sta. Catarina

---

Prof<sup>ª</sup>. Dr<sup>ª</sup> Marly M. de Carvalho  
Univ. de São Paulo – USP

---

Prof. Dr. Newton M. de Souza  
Univ. de Brasília – UnB

---

Prof. Dr. Jucilei Cordini  
Univ. Fed. de Santa Catarina

---

Prof. Dr. Francisco H. de Oliveira  
Univ. do Est. de Sta. Catarina





**Dedico à:**

Deus, pelo dom da vida, amor e capacitação.

Minha família, pelo incentivo e apoio.



## **AGRADECIMENTOS**

A importância de uma pessoa na participação de um trabalho não deve ser medida pelo tempo gasto nem pela quantidade de material fornecido, mas pela disposição de coração em contribuir no crescimento profissional do agraciado. Assim, apresento meus agradecimentos a todos que contribuíram para que eu pudesse galgar mais um degrau na etapa de minha vida.

Meu muito obrigado à:

**Antonio Ayrton Ausani Uberti**  
**Francisco Henrique de Oliveira**  
**Gabriel Oscar Cremona Parma**  
**Glaci Trevisan dos Santos**  
**Jorge de Oliveira Mussi**  
**José Carlos Riegel**  
**José Marcos Moser**  
**Jucilei Cordini**  
**Lia Caetano Bastos**  
**Liana Scheidemantel Soares**  
**Marcos Aurélio Pelegrina**  
**Philip Jurguen**  
**Regis Alessandro Glonvezynski**  
**Renato de Mello**

Em especial à:

**Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE)**, pelo programa de capacitação profissional.



## LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1 – Diagrama típico de um modelo de inferência de Mamdani.</i>	41
<i>Figura 2 – Fluxograma da entrada e manipulação dos dados do Projeto, tendo como resultado o mapa interativo de sugestão de uso do espaço.</i>	46
<i>Figura 3 – Figura mostrando polígonos coloridos do Complexo Paranaguá e da área urbana já transformados em shapes, enquanto outros não coloridos ainda não foram transformados.</i>	48
<i>Figura 4 – Recorte da tabela de atributos do Mapa Morfoestrutural mostrando os campos dos registros dos polígonos.</i>	49
<i>Figura 5 – Operação de cruzamento entre dois mapas temáticos gerando um terceiro feita no ambiente do ArcGIS®. Fase de entrada de dados gráficos do Projeto.</i>	50
<i>Figura 6 – Polígonos do Mapa Morfo-pedológico da Ilha de São Francisco do Sul.</i>	51
<i>Figura 7 – Recorte da tabela de atributos do mapa Morfo-pedológico, mostrando os campos dos registros dos polígonos.</i>	52
<i>Figura 8 – Limites do Parque Estadual do Acaraí.</i>	53
<i>Figura 9 – Recorte da tabela de atributos, mostrando os campos dos registros dos polígonos e campos acrescentados para as variáveis difusas.</i>	54
<i>Figura 10 – Classe de relevo com declividade em porcentagem e em ângulo de inclinação.</i>	58
<i>Figura 11 – Variável lingüística Classe de Relevo e os valores lingüísticos de seus termos.</i>	60
<i>Figura 12 – Escolha do tipo Fuzzy para a variável de entrada CR (Classe de Relêvo) no Project Editor do fuzzyTECH®.</i>	60
<i>Figura 13 – Definição do número de termos que irá compor a variável lingüística CR (Classe de Relevo), no fuzzyTech®.</i>	60
<i>Figura 14 – Definição dos nomes dos termos que compõe a variável lingüística CR (Classe de Relevo), no fuzzyTech®.</i>	61
<i>Figura 15 – Representação da variável e dos termos que a compõe, no fuzzyTech®.</i>	61
<i>Figura 16 – Formulário de entrada dos dados das variáveis primárias no ambiente do MSAccess.</i>	63
<i>Figura 17 – Representação gráfica dos graus de pertinência dos termos de cada variável lingüística da árvore de decisão, definidos pelo especialista no formulário de entrada no fuzzyTECH® (fig.16)</i>	64
<i>Figura 18 – Árvore de decisão para o método ALDA, desenvolvida no fuzzyTECH®.</i>	66
<i>Figura 19 – Janela de definição dos operadores de cada bloco de regra da árvore de decisão.</i>	67

<i>Figura 20 – Parte do bloco de regras que rege a interação das variáveis que compõem a variável Condicionantes Físicas.</i>	68
<i>Figura 21 – Variáveis apresentadas pela análise da árvore no fuzzyTECH®.</i>	71
<i>Figura 22 – Utilização das ferramentas do Layer Properties no ArcGIS®, para a elaboração do Mapa Interativo de Uso do Espaço (figura 51), com os dados das variáveis que se encontram nos registros dos polígonos, no geodatabase (suguso.mdb).</i>	73
<i>Figura 23 – Municípios Litorâneos do Estado de Santa Catarina.</i>	76
<i>Figura 24 – Localização da área de estudo.</i>	77
<i>Figura 25 – Imagem Landsat TM 1994 Composição: Bandas 4, 5 e 7, mostrando a planície marinha, os altos topográficos e as principais localidades.</i>	78
<i>Figura 26 – Granitoide equigranular do Complexo Paranaguá, próximo ao porto da Balsa que liga a localidade de Laranjeiras à localidade de Estaleirinho.</i>	80
<i>Figura 27 – Granitoide do Complexo Paranaguá, localidade do Terminal da Petro-bras, Praia da Enseada em São Francisco do Sul.</i>	80
<i>Figura 28 – Granitoide do Complexo Paranaguá, com xenólito de rocha bandeada dobrada, localidade da Praia de Paulas.</i>	80
<i>Figura 29 – Migmatito do Complexo Paranaguá, mostrando uma grande complexidade, com estruturas dobradas, xenólito de rocha bandeada e porções afaníticas, localidade da Praia de Paulas.</i>	81
<i>Figura 30 – Migmatito do Complexo Paranaguá, mostrando uma grande complexidade, com estruturas dobradas em contato com massa de rocha não dobrada, localidade da Praia de Paulas.</i>	81
<i>Figura 31 – Xenólito de xisto do Complexo Paranaguá, envolto por massa quartzo-feldspática, veios de quartzo e xenólito de rocha máfica imersos em rocha granítica, mostrando a variedade litológica do Complexo Paranaguá; localidade da Praia de Paulas.</i>	81
<i>Figura 32 – Gnaisse do Complexo Paranaguá, intemperizado, mostrando bandamento de faixas quartzo-feldspáticas claras, intercaladas com faixas de microsscistos máficos, localidade de Paulas, corte de estrada.</i>	82
<i>Figura 33 – Campo de Dunas que ocorre na Praia Grande, porção leste da Ilha de São Francisco do Sul.</i>	83
<i>Figura 34 – Sedimentos marinhos do Quaternário, constituindo terraços atuais, QHm2.</i>	83
<i>Figura 35 – Sedimentos marinhos do Quaternário, constituindo terraços subatuais, com diferenças altimétricas que podem chegar a 20 metros.</i>	84
<i>Figura 36 – Ambiente de Mangue, ao longo do Rio Monte de Trigo.</i>	84
<i>Figura 37 – Sedimentos quaternários marinhos atuais, que constituem as praias, Praia Grande.</i>	85

<i>Figura 38 – Morro João Dias, avistado da Praia de Itaguaçu, ao norte da Ilha de São Francisco do Sul.</i>	90
<i>Figura 39 – Morro de Ubatuba no norte da Ilha de São Francisco do Sul.</i>	91
<i>Figura 40 – Planície marinha no norte da Ilha de São Francisco na Praia do Forte.</i>	92
<i>Figura 41 – Vista da Planície de maré ao longo do Rio Monte de Trigo.</i>	92
<i>Figura 42 – Terraço marinho, mostrando a ruptura do terraço mais alto com o nível da praia, Praia Grande.</i>	93
<i>Figura 43 – Terraço marinho à direita, mostrando área de alagamento nas partes mais baixas</i>	93
<i>Figura 44 – Depósitos arenosos originados pela ação do vento, ao longo da Praia Grande.</i>	94
<i>Figura 45 – Vista de várias Rampas de Acumulação colúvio-eluvial, localidade de Morro da Palha.</i>	94
<i>Figura 46 – Corte de encosta mostrando um Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico.</i>	96
<i>Figura 47 – Corte de encosta mostrando um Cambissolo Háptico.</i>	97
<i>Figura 48 – Área de ocorrência do Espodossolo Ferrihumilúvico Órtico, ao longo da BR-280, localidade de Miranda. Fonte: do autor.</i>	98
<i>Figura 49 – O Neossolo Quarzarênico Órtico se faz presente na faixa lesta da Ilha de São Francisco do Sul, ao longo da Praia Grande.</i>	99
<i>Figura 50 – Corte de estrada mostrando a ocorrência de Neossolo Litólico Distrófico, localidade de Palmas.</i>	100
<i>Figura 51 – Os Sistemas Naturais da Ilha de São Francisco do Sul.</i>	103
<i>Figura 52 – Mapa Geológico da Ilha de São Francisco do Sul – SC</i>	110
<i>Figura 53 – Mapa Geomorfológico da Ilha de São Francisco do Sul – SC.</i>	111
<i>Figura 54 – Mapa Pedológico da Ilha de São Francisco do Sul – SC.</i>	112
<i>Figura 55 – Mapa Morfoestrutural da Ilha de São Francisco do Sul – SC.</i>	113
<i>Figura 56 – Mapa Morfo-pedológico da Ilha de São Francisco do Sul – SC.</i>	114
<i>Figura 57 – Mapa Interativo de Sugestão de Uso do Espaço da Ilha de São Francisco do Sul – SC.</i>	116
<i>Figura 58 – Localização do polígono 1 no Mapa Interativo de Sugestão de Uso do Espaço da figura 51.</i>	117
<i>Figura 59 – Localização do polígono 1 em imagem do Google-Earth em maio de 2009. Fonte: do autor.</i>	117
<i>Figura 60 – Formulário de entrada de dados para o polígono 1, no ambiente MSAccess.</i>	118
<i>Figura 61 – Conjunto de gráficos representativos das variáveis de entrada e saída de dados do polígono 1 no ambiente do fuzzyTECH®.</i>	119

<i>Figura 62 – Localização do polígono 9 no Mapa Interativo de Sugestão de Uso do Espaço da figura 51.</i>	120
<i>Figura 63 – Localização do polígono 9 em imagem do Google-Earth em maio de 2009.</i>	120
<i>Figura 64 – Formulário de entrada de dados para o polígono 9, no ambiente MSAccess. Fonte: do autor.</i>	121
<i>Figura 65 – Conjunto de gráficos representativos das variáveis de entrada e saída de dados do polígono 9 no ambiente do fuzzyTECH®.</i>	122
<i>Figura 66 – Localização do polígono 33 no Mapa Interativo de Sugestão de Uso do Espaço da figura 51.</i>	123
<i>Figura 67 – Localização do polígono 33 em imagem do Google Earth em maio de 2009.</i>	123
<i>Figura 68 – Formulário de entrada de dados para o polígono 33, no ambiente MSAccess.</i>	124
<i>Figura 69 – Conjunto de gráficos das variáveis de entrada e saída de dados do polígono 33 no ambiente do fuzzyTECH®.</i>	125
<i>Figura 70 – Localização do polígono 77 no Mapa Interativo de Sugestão de Uso do Espaço da figura 51.</i>	126
<i>Figura 71 – Localização do polígono 77 em imagem do Google Earth em maio de 2009. Fonte: do autor.</i>	126
<i>Figura 72 – Formulário de entrada de dados para o polígono 77, no ambiente MSAccess. Fonte: do autor.</i>	127
<i>Figura 73 – Conjunto de gráficos representativos das variáveis de entrada e saída de dados do polígono 77 no ambiente do fuzzyTECH®.</i>	128



## LISTA DE SIGLAS

<b>AIA</b>	- Avaliação de Impactos Ambientais
<b>ArcGIS</b>	- Programa de Sistemas de Informações geográficas pertencente à ESRI®
<b>CAD</b>	- Computer Aided Design
<b>CASAN</b>	- Companhia de Águas e Saneamento de Santa Catarina
<b>CNPS</b>	- Centro Nacional de Pesquisa de Solos
<b>CONAMA</b>	- Conselho Nacional do Meio Ambiente
<b>DIGEO/SUL</b>	- Divisão de Geociências do Sul
<b>EMBRAPA</b>	- Empresa Brasileira de Pesquisas Agropecuárias
<b>EIA</b>	- Estudos de Impactos Ambientais
<b>FATMA</b>	- Fundação de Amparo ao Meio Ambiente
<b>fuzzyTECH®</b>	- Programa de análise de conjuntos “ <i>fuzzy</i> ” pertencente à Inform Software Co.
<b>IBGE</b>	- Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística
<b>MSAccess®</b>	- Programa gerenciador de banco de dados pertencente MicroSoft®
<b>MSGG</b>	- MicroStation GeoGraphics, pertencente à Bentley®.
<b>ONU</b>	- Organização das Nações Unidas
<b>PNGC</b>	- Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro
<b>SDT</b>	- Soft Decision Trees
<b>SECIRM</b>	- Secretaria Interministerial para Recursos do Mar
<b>SEDUMA</b>	- Secretaria de Estado de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente
<b>SIG</b>	- Sistema de Informações Geográficas
<b>SPF</b>	- Secretaria de Estado do Planejamento e Finanças
<b>UDESC</b>	- Universidade do Estado de Santa Catarina
<b>UERJ</b>	- Universidade do Estado do Rio de Janeiro
<b>UFSC</b>	- Universidade Federal de Santa Catarina
<b>USP</b>	- Universidade de São Paulo
<b>VBA</b>	- Visual Basic for Applications



## RESUMO

Este projeto tem por objetivo o desenvolvimento de um método para elaboração de um Mapa Interativo de Sugestão de Uso do Espaço, utilizando o conceito de árvore de decisão, como apoio à decisão ao planejamento e gerenciamento do uso do espaço. Os dados são obtidos dos trabalhos de mapeamento e, pelos cruzamentos de mapas temáticos em ambiente de Sistema de Informações Geográficas, são armazenados em geodatabase e operados por lógica difusa. As informações contidas no geodatabase são integradas e analisadas por meio de árvore de decisão, através de uma interface que se utiliza dos programas fuzzyTech® e MSAccess®, realimentando o geodatabase com os resultados obtidos pela análise. Estes dados são então acessados pelo ArcGis® para a elaboração do Mapa Interativo de Sugestão de Uso do Espaço. A aplicação e validação do método proposto são realizadas com a elaboração do Mapa Interativo de Sugestão de Uso do Espaço para a Ilha de São Francisco do Sul – SC.

**Palavras-chave:** Sistemas de Informações Geográficas. Mapa Interativo de Sugestão de Uso do Espaço. Lógica Difusa. Soft Decision Trees. Gestão Territorial.



## ABSTRACT

In this study we aimed at the development of a method for the elaboration of an interactive map of suggestion for space use, applying the concept of soft decision tree, as support to the decision, planning and administration of land use. The data are obtained from mapping works and from thematic map crossings in geographical information system environment. They are stored in geodatabase, and operated by fuzzy logic. The information contained in the geodatabase is integrated and analyzed by a soft decision tree, through an interface that uses fuzzyTech® and MSAccess®, refilling the geodatabase with the results obtained by the analysis. These data are then accessed by ArcGis® for the elaboration of the interactive map of suggestion for space use. The application and validation of the proposed method is accomplished with the elaboration of the interactive map of suggestion for space use on the Island of São Francisco do Sul – SC.

**Key-words:** GIS. Map of Suggestion for Space Use. Fuzzy Logic. Soft Decision Trees. Territorial Management.



# SUMÁRIO

<b>1 INTRODUÇÃO</b>	<b>23</b>
1.1 Objetivos	25
1.1.1 Geral	25
1.1.2 Específicos	25
1.2 Justificativas	25
1.3 Contribuição científica do trabalho	29
1.4 Delimitações do trabalho	29
1.5 Estrutura do trabalho	29
<b>2 REVISÃO DE LITERATURA</b>	<b>31</b>
2.1 O meio físico	31
2.1.1 Análise do meio físico	33
2.2 Sistemas de Informações Geográficas (SIG)	34
2.3 Lógica Difusa	36
2.3.1 Árvores de decisão	38
Definição formal de árvore de decisão	38
Soft Decision Trees (SDT)	39
2.3.2 O modelo de inferência difusa de Mamdani	40
<b>3 MÉTODO DE TRABALHO</b>	<b>45</b>
3.1 Entrada de dados	47
3.1.1 Dados gráficos	47
3.1.2 Entrada de dados dos especialistas	55
Rocha	55
Solo	56
Relevo	56
Clima	56
3.2 Elaboração da árvore de decisão	65
3.3 Processamento dos dados e resultado da análise	72
<b>4 ÁREA DE ESTUDO</b>	<b>75</b>
4.1 Localização	75
4.2 Caracterização da área de estudo	78
4.2.1 Geologia	78
Complexo Paranaguá (PSp)	79
Sedimentos Aluvionares (QHa)	82
Sedimentos Colúvio-Aluvionares (QHca)	82
Sedimentos Arenosos de Origem Eólica (QHe)	82
Sedimentos Flúvio-Lagunares (QHfl)	83
Sedimentos Marinhos (QHm)	83
Sedimentos Argilo-Siltico-Arenosos (QHmg)	84
Sedimentos Marinhos Atuais (QHmp)	84

4.2.2 Geomorfologia	85
Domínio Morfoestrutural Depósitos Sedimentares Quaternários – I	85
Unidade geomorfológica Planícies Marinhas – I.A	86
Unidade geomorfológica Planícies Aluviais – I.B	87
Unidade geomorfológica Planos e Rampas Colúvio-Aluviais – I.C	87
Domínio Morfoestrutural das Rochas Granitoides – II	88
Unidade geomorfológica Serra do Mar – II D	88
Análise Morfodinâmica dos Tipos de Modelados	89
Classes de relevo	89
Tipos de Modelados	90
Modelados de Dissecção – D	90
Dc – Colinoso	90
Do – Morraria (outeiro)	90
Dm – Montanhas	91
Modelados de Acumulação – A	91
Am – Planície Marinha	91
Amg – Planície de Maré ou Mangue	92
Atm – Terraço Marinho	92
Atfl – Terraço Flúvio-Lacustre	93
Aea – Eólica Ativa	93
Are – Rampas Colúvio-Eluviais	94
Atfl – Terraço Flúvio-Laguna	94
4.2.3 Pedologia	95
Descrição das Classes de Solos	95
Argissolo Vermelho-Amarelo Distrófico (PVLA)	95
Cambissolo Háplico Tb Distrófico (CAbd)	96
Espodossolo Ferrihumilúvico Órtico e Humilúvico Hidromórfico (ESKo)	97
Gleissolo Háplico Tb Distrófico (GXvd)	98
Neossolo Quartzarênico Órtico e Quartzarênico Hidromórficos (RQo)	98
Neossolo Litólico Distrófico (Rl)	99
Organossolo Háplico Hêmico (Oxy)	100
Considerações sobre Tipos de Terrenos	101
Solos Indiscriminados de Mangues (SM)	101
Afloramentos de Rochas (AR)	101
Dunas (Dn)	102
4.2.4 Sistemas Naturais	102
Domínio Morfoestrutural dos Sedimentos Quaternários I	104
Geossistema Planícies Eólicas – A	104
Geossistema Planícies Flúvio-Lagunares – B	105



Geossistema Planícies Marinhas – C _____	106
Geossistema Planos e Rampas Coluvio-Aluvionares – D _____	107
Domínio Morfoestrutural das Rochas Graníticas – III _____	108
<b>5 RESULTADOS E ANÁLISES _____</b>	<b>109</b>
<b>6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES _____</b>	<b>129</b>
6.1 Conclusões _____	129
6.2 Sugestões _____	130
<b>BIBLIOGRAFIA _____</b>	<b>131</b>



## 1 INTRODUÇÃO

A partir da conferência promovida pela Organização das Nações Unidas (ONU), na cidade de Estocolmo, em 1972, conforme Macedo (1991), diversos esforços vêm sendo desenvolvidos na esfera do setor ambiental no sentido de estabelecer uma base metodológica para o desenvolvimento de estudos ambientais universidades, empresas de consultoria e projetos, institutos de pesquisa, órgãos públicos, associações ambientalistas, profissionais liberais de diversas áreas e organismos internacionais têm aceitado esse desafio.

Assim, a sistemática de Avaliação de Impactos Ambientais (AIA), modelo adotado desde 1969 pelos EUA, é incorporada à Política Nacional do Meio Ambiente (PNMA) do Brasil pela Lei nº. 6938/81. Em 1986, são estabelecidas pelo Conselho Nacional do Meio Ambiente (CONAMA), Resolução 01/86, as primeiras orientações detalhadas para a realização e aplicação de Estudo de Impacto Ambiental (EIA), visando a uma maior proteção ao meio ambiente e a uma melhor qualidade de vida. Esses estudos não devem se limitar apenas a projetos ainda por implantar, mas atentar principalmente para situações relacionadas com quadros de acelerada degradação ambiental, que necessitam ser identificadas, corrigidas, controladas e, se possível, revertidas.

Em 1987, com a assinatura de convênios entre as Secretarias de Estado da Coordenação Geral e Planejamento (SEPLAN) e de Desenvolvimento Urbano e Meio Ambiente (SEDUMA), a Fundação Instituto Brasileiro de Geografia e Estatística (IBGE), a Fundação de Amparo ao Meio Ambiente do Estado de Santa Catarina (FATMA) e a Companhia Catarinense de Águas e Saneamento (CASAN), foram iniciados, no Estado de Santa Catarina, mapeamentos e estudos relativos ao gerenciamento da zona costeira.

Posteriormente, como um instrumento de apoio à execução do Plano Nacional de Gerenciamento Costeiro (PNGC), foi realizado o Diagnóstico Ambiental do Litoral de Santa Catarina, cujos trabalhos foram feitos pela equipe multidisciplinar do IBGE, por intermédio da sua Diretoria de Geociências, elaborado para atender ao contrato de “Prestação de Serviços Técnicos” celebrado entre o IBGE e o Governo do Estado de Santa Catarina, a quem cabe as atribuições inerentes ao desenvolvimento do PNGC.

O diagnóstico ambiental teve como objetivo principal a análise da Qualidade Ambiental e foi realizado segundo uma metodologia própria da equipe multidisciplinar do IBGE, expressa por mapas na escala 1:100.000, acompanhados de relatórios técnicos (MAGNAGO, 1998).

Essa metodologia, ao estudar o aspecto físico da área, utilizou de estudos temáticos sobre a constituição litológica, orientação das lineações estruturais, materiais de alteração e sedimentos (PIRES, 1977), sobre os tipos de relevo de acordo com as características de organização das formas e declividade das encostas e da rede de drenagem e suas relações com as litoestruturas (ROSA, 2003), e sobre as classes de solo, segundo suas propriedades físicas e químicas (SHIMIZU, VIEIRA e MOSER, 1997).

Estudos sobre as alterações ambientais decorrentes das intervenções antrópicas têm sido desenvolvidos com a utilização de metodologias baseadas em técnicas diversas, tais como análises multicriteriais como o processo analítico hierárquico (AHP) (PUENTE, 2007), técnicas de geoprocessamento como modelo digital de terreno (MDT), sensoriamento remoto (SR) e sistemas de informações geográficas (SIG) (CHANG, 2008), os quais se fundamentam em uma análise compartimentada do meio físico.

Esses diagnósticos baseiam-se principalmente nos aspectos geológicos, geomorfológicos e pedológicos, tendo em vista que as rochas, os solos e a morfologia sob a qual se apresentam na paisagem são seus principais constituintes.

As análises para esses diagnósticos acabam por ser subjetivas devido às características e particularidades de cada um desses aspectos e de seus múltiplos relacionamentos. Essas análises dependem intrinsecamente da experiência, sensibilidade e conhecimento do analista e isso pode levar a resultados imprecisos, pois dois analistas distintos poderão gerar diagnósticos diferentes, quando baseados em conhecimentos e experiências próprias.

Essa possibilidade motivou-nos a buscar um método que além do conhecimento técnico do analista, verificasse a possibilidade de interação de dados entre um sistema de informação geográfica, o ArcGIS®, um banco de dados georreferenciado, manipulado no MSAccess® e um programa de auxílio de tomada de decisão, baseado em lógica difusa, o fuzzyTECH®.

Utilizando desses mesmos aspectos e dos mapeamentos geológico, geomorfológico e de solos, anteriormente realizados pelo IBGE, foi desenvolvida uma nova possibilidade de análise do meio físico, um método para a elaboração de um mapa interativo de sugestão de uso do espaço.

A utilização dos conceitos da lógica difusa na elaboração de mapa interativo de sugestão de uso do espaço visa contribuir para uma melhoria na abordagem do tratamento das informações geográficas, na

medida em que trata os dados fornecidos pelo especialista, através de uma árvore de decisão no fuzzyTech®, pela análise das características físicas das rochas, solos e relevo – elementos que constituem os aspectos do meio físico, resultando em dados mais confiáveis quanto ao seu diagnóstico.

## **1.1 Objetivos**

### ***1.1.1 Geral***

Desenvolver um método de elaboração de mapa interativo de sugestão de uso do espaço, com utilização de operações de árvores de decisão mediante a lógica difusa, em ambiente de sistema de informações geográficas.

### ***1.1.2 Específicos***

- a) Elaborar um método de operações e de integração de múltiplas informações temáticas, tais como tipo de rocha, classe de relevo, tipos de solo, em ambiente de sistema de informações geográficas (SIG).
- b) Gerar um sistema computacional que integre os dados entre os programas fuzzyTech®, MSAccess® e ArcGIS®, visando à elaboração de mapa interativo de sugestão de uso do espaço.
- c) Aplicar e validar o método na elaboração do mapa interativo de sugestão de uso do espaço para a Ilha de São Francisco do Sul – SC.
- d) Disponibilizar um sistema de consulta, em ambiente SIG, que permita aos gestores de planejamento de uso do espaço a tomada de decisões mais seguras com base nas informações do mapa interativo de sugestão de uso do espaço, quando da implantação de projetos, zoneamentos e ocupação do espaço.

## **1.2 Justificativas**

Historicamente, desde o início da colonização, a região de maior concentração populacional está localizada na zona costeira, ponto de partida para a ocupação do interior.

Esta zona pode ser definida como zona de múltiplos usos, sendo possível encontrar em sua extensão diversas formas de ocupação e

utilização do solo e a manifestação das mais variadas atividades humanas, acarretando um intenso conflito no uso do espaço.

Entende-se conflito como todo uso inadequado à manutenção do equilíbrio do espaço, solo, água, relevo, população ou à legislação existente, causando um desequilíbrio aos sistemas naturais, e sendo uma das principais causas da crescente degradação ambiental. Assim sendo, um estudo das características físicas dos ambientes naturais de determinada região torna-se fundamental na busca de seu desenvolvimento sustentável ou equilibrado. O caráter predatório da exploração dos recursos naturais e o uso inadequado do espaço, com a conseqüente degradação dos diversos ecossistemas, tem sido um problema que afeta diretamente a qualidade de vida e a sustentabilidade ou equilíbrio do meio ambiente.

Ao longo da zona litorânea do Estado de Santa Catarina, a pressão antrópica sobre os sistemas naturais e a falta de planejamento e de gestão do uso do espaço tem gerado um crescimento desordenado, resultando em sérios impactos ao ambiente.

O uso inadequado do espaço figura entre os maiores responsáveis pelas erosões, assoreamentos, enchentes, secas e poluição, contando ainda com a omissão dos órgãos governamentais em não intervir na ocupação de áreas inseguras e na liberação de outras tantas sem um estudo prévio.

Escorregamentos de encostas, inundações de vales, poluição de aquíferos e de solos, ravinamentos, etc. estão entre os principais problemas causados por esse uso inadequado do espaço.

Como resultado desse uso inadequado do espaço, o mês de novembro de 2008 está marcado na história do médio e baixo vale do rio Itajaí, no Estado de Santa Catarina, como um mês de tragédias, como foi fartamente documentado pela mídia televisiva.

O alto índice de pluviosidade provocado por situação meteorológica atípica, em uma região constituída por um relevo de vales encaixados, morros e montanhas, cujo substrato é formado por rochas sedimentares e meta-sedimentares, causou alagamentos e deslizamentos de encostas que deixaram mais de 100 mortos e prejuízos materiais que chegaram a milhões de reais.

A mobilização de milhares de pessoas entre defesa civil, corpo de bombeiros, polícia, órgãos públicos e voluntários, na busca, resgate e abrigo dos sobreviventes, custou outro tanto aos cofres públicos.

Técnicos do Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), de São Paulo, da Universidade Federal de Santa Catarina e do poder público, após estudo dos problemas nas áreas atingidas por esse desastre natural,

têm informado, por meio de entrevistas nos meios de comunicação, que serão necessários, pelo menos, 20 anos para que essa área possa atingir um estágio de equilíbrio que permita novamente a sua utilização pela população, sem riscos de novas tragédias.

Uma das conseqüências das várias transformações que marcaram a segunda metade do século XX foi a crescente dúvida em relação ao futuro do meio ambiente. Apesar das contradições e pressões dos interesses econômicos, surge crescente movimento de opiniões e ações, objetivando tornar reais as aspirações de sustentabilidade em todas as dimensões da vida humana.

Em termos de sustentabilidade, pode-se afirmar que um desenvolvimento sustentável é aquele que atende às necessidades das gerações presentes sem comprometer a possibilidade das gerações futuras atenderem suas próprias necessidades, mantendo o equilíbrio dos sistemas naturais, pelo uso racional dos seus recursos naturais.

Para Figueiredo e Loch (1996), o zoneamento ambiental básico em escalas cartográfica adequada cumpre a função de ordenamento físico territorial, ou seja, de localização das atividades. Sendo assim, contribui para o aperfeiçoamento da gestão ambiental. É possível agregar os estudos de capacidade de suporte ambiental, com o objetivo de avaliar e indicar a intensidade admissível dos usos dos recursos naturais com um conhecimento prévio das atividades previamente locadas por um zoneamento que corresponda à verdade geográfica e ambiental.

Portanto, deve-se procurar maximizar o enfoque das ações gestoras no sentido da previsão, quando possível, e da prevenção, sempre, visando mitigar os impactos negativos causados pelo uso inadequado do espaço, antes que se façam necessárias medidas de emergência e de reparação, com alto custo para a sociedade e cujos resultados nem sempre conseguem atender às necessidades de reparação geradas por tais impactos.

Mapas de uso e cobertura da Terra têm sido produzidos pelo IBGE (2006) e contêm informações sobre as principais utilizações antrópica da Terra e sua cobertura atual, mostrando a ocupação do espaço. Esses mapas podem servir de base para um estudo dos conflitos de uso, indicando onde e quando o tipo de utilização do espaço é impróprio para aquele meio físico.

A busca por instrumentos que permitam um melhor conhecimento da realidade ambiental e que forneçam informações para o embasamento das decisões dos gestores, quanto a uma utilização otimizada e racional do espaço, resultou na proposta de uma nova abordagem para o gerenciamento territorial, com a utilização do mapa interativo de suges-

tão ao uso do espaço. Esse mapa baseia-se nos conceitos da lógica difusa, por meio da técnica de árvores de decisão, apresentada por Son (2002), e Olaru e Wehenkel (2003). Essa abordagem visa suprir a dificuldade na obtenção dos valores das variáveis envolvidas nesse processo, visto que nem todas essas variáveis são discretas, mas, na maioria das vezes, são variáveis difusas, com métricas diferentes, carecendo de uma outra abordagem que, ao tratá-las, permita um resultado mais confiável.

O mapa interativo de sugestão de uso do espaço, utilizando-se dos mapeamentos geológicos, geomorfológicos e pedológicos existentes, busca apresentar informações sobre as possibilidades de utilização do espaço quanto à sua capacidade de suporte à pressão sobre o meio físico. Cada polígono do mapa pode ter como resposta da análise e inter-relacionamento das características das rochas, solos e relevo, por meio da lógica difusa, uma das cinco possibilidades pré-estabelecidas como classe de resposta para a sugestão do uso do espaço: livre, pouco restrito, supervisionado, muito restrito e preservação.

Por manipular informações sobre a constituição das rochas, forma de relevo e tipo de solo que compõem o espaço estudado, esse mapa é um valioso instrumento de auxílio nas tomadas de decisão. E o desenvolvimento dessa nova abordagem, com a utilização da lógica difusa na obtenção dos indicativos que constituem esse mapa, poderá tornar-se um instrumento útil no planejamento da ocupação ordenada do espaço, para os órgãos de pesquisa, de gestão e desenvolvimento tais como: IBGE, FATMA, SMA, EPAGRI, Prefeituras Municipais e outros órgãos de gestão.

A carência de produtos que integrem e manipulem esses novos conceitos levou ao desenvolvimento deste método, que está estruturado em fases, com início na representação da decisão que se busca, em forma de uma árvore, construída no programa fuzzyTech®, no sentido topo base, como apresentada por Medeiros, Mello e Campos Filho (2007).

Essa árvore é aplicada na análise dos dados dos mapas temáticos e seus cruzamentos feitos no ArcGis® e de seus atributos alfanuméricos contidos em um geodatabase gerenciado pelo MSAccess® e seu resultado é utilizado na elaboração do mapa interativo de sugestão de uso do espaço.



### **1.3 Contribuição científica do trabalho**

O mapa interativo de sugestão de uso do espaço, gerado de forma dinâmica, permite capturar a opinião do especialista e incorporá-la automaticamente. Esse fato possibilita a criação de diferentes mapas, cada qual respeitando o conhecimento do especialista, permitindo de forma mais ágil a comparação com a realidade existente e a confrontação de opiniões divergentes. É uma nova abordagem no gerenciamento territorial, combinando dados oriundos de mapas temáticos vetoriais, base de dados e outras informações fornecidas por especialistas, no ambiente de sistema de informações geográficas do ArcGis®, visando suprir informações em apoio ao planejamento e gestão do uso do espaço.

As análises das variáveis de entrada, obtidas do banco de dados georreferenciado, ou “geodatabase” gerenciado pelo programa MSAccess, são realizadas no ambiente do programa fuzzyTech®, por meio da árvore de decisão e as variáveis resultantes dessas análises são adicionadas automaticamente ao banco de dados, permitindo sua utilização pelo ArcGis na elaboração de mapas temáticos.

Tal abordagem contribui para uma melhora nas análises inter-relacionais de informações cujas bases de dados são diferentes, bem como quando essas informações forem de caráter difuso e regidas por métricas diferentes, tais como: resistência à erosão, declividade de encosta, estruturação de solo, rocha intemperizada, etc., na elaboração de trabalhos e estudos de gestão territorial.

### **1.4 Delimitações do trabalho**

Optou-se, nesta abordagem, por trabalhar apenas com dados do meio físico, relativos à geologia, à geomorfologia, ao clima e aos solos, pela compreensão de que é nesse meio que ocorrem as demandas das pressões de uso, deixando a utilização dos dados socioeconômicos para uma fase posterior de evolução do método.

### **1.5 Estrutura do trabalho**

O Capítulo I trata da apresentação da tese, a qual tem como questão central o desenvolvimento de método para apoio à decisão na elaboração de um mapa interativo de sugestão de uso do espaço, com a interação de dados em três ambientes diferentes. Além disso, apresenta os objetivos que se pretende atingir com o desenvolvimento deste projeto e as justificativas que nos levaram a apreendê-lo.

O Capítulo II apresenta, com base na literatura existente, os conceitos fundamentais e os principais escritos sobre os temas abordados nesta tese.

O Capítulo III apresenta o desenvolvimento do método proposto, suas etapas e o desenvolvimento dos trabalhos, além da apresentação das variáveis primárias, temáticas e sistêmica do projeto.

O Capítulo IV trata da localização e caracterização da área de estudo quanto aos atributos do meio físico que a constituem.

O Capítulo V apresenta os resultados esperados pelo método proposto.

O Capítulo VI trata das conclusões e sugestões de continuidade do tema aqui tratado.

O Capítulo VII trata da bibliografia consultada na elaboração desta tese.

## 2 REVISÃO DE LITERATURA

São apresentados a seguir conceitos e trabalhos realizados sobre os temas abordados nesta pesquisa, segundo cada área de atuação.

### 2.1 O meio físico

O meio físico compreende o espaço terrestre onde são desenvolvidas todas as atividades naturais e antrópicas. A parcela do meio ambiente é constituída pelos materiais rochosos e inconsolidados, as águas, o ar e o relevo, que estão combinados e arranjados de diversas maneiras em espaços tridimensionais (ZUQUETTE, 1993). Pode ser entendido como o conjunto do meio ambiente definido pelas interações de componentes predominantemente abióticos, quais sejam, materiais terrestres (solo, rocha, água e ar) e tipos naturais de energia (gravitacional, solar, energia interna da Terra e outras), incluindo suas modificações decorrentes da ação biológica e humana (FORNASARI FILHO, 1992 e BITAR, 1995).

De acordo com Fornasari Filho (1992) e Bitar (1990), os processos do meio físico consistem em uma série de fenômenos sucessivos com relação de causa e efeito, que resultam da interação de componentes materiais e tipos de energia e que podem ser deflagrados, acelerados ou retardados por agentes físicos, químicos e biológicos (fauna e flora) ou humanos. Os processos do meio físico, os quais, no conjunto, expressam a própria dinâmica do meio são: movimentos de massa (erosão, escorregamento, rastejo, subsidência, etc.), processos pedogenéticos, inundação, movimento da água em superfície, entre outros.

O aumento populacional, além de gerar uma maior concentração urbana, provoca uma maior pressão pela ocupação do espaço periférico, levando a uma ocupação geralmente desordenada desse espaço periférico, o que, na maioria das vezes, conduz ao uso inadequado do espaço e à degradação do meio ambiente.

Segundo Almeida e Freitas (1996), áreas mais problemáticas em relação às suas características físicas passam a ser ocupadas pela população de menor poder aquisitivo, com a instalação de loteamentos clandestinos e favelas carecendo de infra-estrutura básica e equipamentos urbanos. Essa ocupação acaba por causar pressão sobre áreas já fragilizadas, ocasionando desequilíbrio ainda maior e conseqüentes desastres.

Herrmann (1989), em sua dissertação de mestrado, ao estudar as áreas de preservação permanente na porção central do município de

Florianópolis, faz uma análise ambiental utilizando-se de dados da geologia, da geomorfologia e da pedologia, concluindo-a com um mapa de recomendação de uso do solo.

Em seu trabalho “Diagnóstico do Meio Físico de Bacias Hidrográficas”, Beltrame (1995) apresenta considerações sobre o estudo de parâmetros para o diagnóstico do meio físico, analisando quatro grandes fatores potenciais naturais de degradação física: vegetação, clima, características geológico-pedológicas e características do relevo.

Para Hidalgo (apud ROCHA, 1991), as áreas de conflitos de uso da terra figuram entre os maiores responsáveis pelas erosões, assoreamentos, enchentes, secas e poluição. Esses conflitos de uso produzidos pela atividade antrópica podem gerar direta ou indiretamente alterações nas propriedades físicas, químicas ou biológicas da água, do ar ou do solo, ocasionando condições nocivas à saúde do homem, à sociedade e aos recursos naturais renováveis.

Para Santos (1997), a utilização de técnicas inadequadas e a não compreensão da interdependência dos processos que atuam sobre uma determinada área são as principais causas da degradação ambiental. Para chegar-se a um diagnóstico físico das condições do grau de conservação ou deterioração de uma região, deve-se inicialmente analisar o ambiente, no qual se inclui o solo como componente mais importante. É possível, com a associação dos conhecimentos da Geologia, da Pedologia e da Mecânica dos Solos, avançar no conhecimento do meio físico e quantificar com parâmetros geotécnicos cada unidade geotécnica para a aplicação em anteprojetos de obras civis.

Exemplificando: a estabilidade, resistência ao processo natural à erosão das unidades de sistemas naturais <sup>1</sup> é definida pela análise integrada do conjunto rocha, solo, relevo, vegetação e clima.

Os elementos considerados em cada componente físico da paisagem são descritos a seguir, levando em consideração a sua suscetibilidade à erosão, segundo Santos (1997).

Tipo de Rocha, quanto à sua origem, em relação ao seu comportamento quanto à erosão: muito resistente, moderado, pouco resistente.

Tipo de Solo, quanto à sua textura, em relação ao seu comportamento quanto à erosão: muito resistente, moderado, pouco resistente.

Forma de Relevo, quanto à influência da forma de relevo na erosão: não favorece, moderado, favorece.

---

<sup>1</sup> Sistemas naturais – áreas da superfície terrestre com características semelhantes na constituição geológica, pedológica e geomorfológica, vegetação e clima.

Tipo de Vegetação e densidade de cobertura (influência da vegetação): não favorece, moderado, favorece.

### ***2.1.1 Análise do meio físico***

Dentre os trabalhos de análise do meio físico destacam-se alguns por apresentarem uma correlação com o método desenvolvido

Gupta et. al (2008), ao estudarem as regiões montanhosas do Himalaia, onde a ocorrência de deslizamentos de terra são frequentes fazem uso de uma comparação espacial de mapas raster de diferentes zoneamentos de suscetibilidade de deslizamento de terra, de uma mesma área, mapas estes derivados de vários procedimentos. Um aspecto crítico em estudos de deslizamento de terra é o procedimento para a tarefa de atribuir pesos para os vários fatores que afetam a ocorrência dos deslizamentos. Nesse artigo, é apresentado um nível de avaliação espacial comparativa desses mapas buscando ter uma visão detalhada do desempenho de cada um dos procedimentos de atribuição dos pesos para o zoneamento de suscetibilidade de deslizamento de terra. A avaliação foi feita por três aproximações, análise de densidade de deslizamento de terra, análise de matriz de erro e análise de diferença de imagem. Com base nos valores de densidade de deslizamento de terra deduz-se que a combinação neural e os procedimentos fuzzy para o mapeamento do zoneamento de suscetibilidade de deslizamento de terra, parecem ser significativamente melhor que outros procedimentos. A análise de matriz de erro realça a diferença significativa entre o procedimento convencional subjetivo na atribuição dos pesos e a combinação neural objetiva e os procedimentos fuzzy. O uso dessa avaliação espacial pode ser altamente benéfico para avaliar qualitativamente o zoneamento de suscetibilidade de deslizamentos de terra.

Tangestani, (2009) apresenta para uma área de represa nas montanhas de Zagros, NW Shiraz, do Irã, a comparação dos resultados obtidos pelo método Dempster-Shafer (D-S) e pelos modelos fuzzy, no mapeamento de perigo de deslizamento de terra. Litologia, ângulo de declive, aspecto de declive, cobertura e profundidade do solo foram considerados como fatores causais de deslizamento de terra. Os mapas intermediários foram utilizados como dados de entrada em um GIS e um fator modificado de avaliação de perigo de deslizamento de terra foi avaliado tanto pelo modelo (D-S) como pela aplicação de funções de pertinência do modelo fuzzy e foi concluído que em comparação ao modelo fuzzy, o modelo de D-S obtém resultados menos seguros para cartografia de perigo de deslizamento de terra.

Desde que a “Teoria de Conjuntos Difusa” de Zadeh foi formulada, muitos esforços foram dedicados para dotar os bancos de dados com mecanismos para representar e manipular informações de um modo flexível. As propostas que apareceram na literatura com este objetivo são principalmente apoiadas nos modelos de possibilidade, de relação de semelhança, ou na combinação de ambas as perspectivas. Este fato, junto com a variedade de modelos de banco de dados suscetível de extensão (i.e., modelos relacionais, modelos orientados a objetos, modelos lógicos, modelos objeto-relacional, etc.), deu lugar a um aumento de propostas com aproximações de modelos de banco de dados difusos, mas a materialização desses modelos em sistemas de modelagem de banco de dados difusos não foi tão proveitosa e o desenvolvimento de aplicações suportadas por esses sistemas está ainda em um estágio exploratório.

Galindo et. al (1970) apresentam em seu livro “Conceitos sobre Modelagem, Desenho e Implementações de Banco de Dados Difusos”, que a implementação de modelos de bancos de dados difusos será determinada pelo desenvolvimento de aplicações que tiram proveito das capacidades desses bancos de dados, para operar com informações flexíveis ao resolver problemas da vida real. Nesse sentido, diferentes áreas de aplicação têm se apresentado e nesse livro, estão alguns exemplos, de como mineração de dados, recuperação de informação, recuperação de imagem baseada em conteúdo, e aplicações clássicas no gerenciamento de campo, melhoraram com a possibilidade de manipular informações flexíveis ao resolver problemas da vida real.

## **2.2 Sistemas de Informações Geográficas (SIG)**

Segundo Aronoff (1989), SIG é “um conjunto manual ou computacional de procedimentos utilizados para armazenar e manipular dados georreferenciados”.

Para Burrough (1985), SIG é “um conjunto poderoso de ferramentas para coletar, armazenar, recuperar, transformar e visualizar dados sobre o mundo real”.

Cowen (1988) define SIG como “um sistema de suporte à decisão que integra dados referenciados espacialmente num ambiente de respostas a problemas”.

De acordo com Smith et al (1987), pode-se definir SIG como “um banco de dados indexados espacialmente, sobre o qual opera um conjunto de procedimentos para responder a consultas sobre entidades espaciais”.

Assim, entende-se com SIG um sistema constituído por um conjunto de programas (softwares) e equipamentos (hardware) necessários para integrar, em uma única base de dados, informações espaciais provenientes de dados cartográficos, dados alfanuméricos, imagens, redes, modelos numéricos de terreno, etc. oferecendo mecanismos que combinem as várias informações, por intermédio de algoritmos de manipulação e análise, permitindo consultar, recuperar, tratar ou manipular esses dados referenciados e visualizar o conteúdo da base de dados em forma gráfica.

Nos últimos anos, tem havido um grande avanço no desenvolvimento e na aplicação de sistemas de informações geográficas em quase todas as áreas das ciências. Novos programas dotados de recursos cada vez mais poderosos têm sido colocados no mercado.

As informações geográficas tipicamente especificadas como coleções de entidades e fenômenos, estruturados em entidades espaciais, são organizadas como classes hierarquizadas nos sistemas de informações geográficas (CROSS e FIRAT, 2000).

Modelagem, armazenamento e recuperação de informações geográficas têm se tornado uma parte importante das informações da sociedade contemporânea.

Os sistemas de informações geográficas em sua atual evolução permitem armazenar não apenas informações vetoriais ou raster, mas também os atributos alfanuméricos a elas relacionados de uma forma georreferenciada. Ou seja, as informações referentes a um registro estão ligadas a um ou mais pontos da superfície da Terra, permitindo, dessa forma, uma análise mais realista do uso do espaço.

Conforme Petry et al (2003), outra característica das informações geográficas é que, frequentemente, elas podem ser inexatas ou vagas, e há a necessidade de se tratar com esse tipo de informação de uma maneira apropriada. A associação do SIG à lógica difusa tem aumentado em muito sua capacidade para operacionalizar essas informações.

Fernandes (1999) apresenta, em seu trabalho de mestrado, uma descrição pormenorizada da utilização dos conceitos de um SIG, nas aplicações de topologia, edição de arquivos e cruzamentos de mapas temáticos, tendo como resultado final o Mapa Morfo-pedológico da Ilha de São Francisco do Sul. Esse mapa é o mapa base para a elaboração de um mapa de sugestão de uso do espaço.

Nobre et al (2007) apresentam uma nova metodologia para avaliar a vulnerabilidade de água subterrânea e para a cartografia de risco, baseada em uma metodologia de indexação e na análise de risco da fon-

te-caminho-receptor, e se utilizam de SIG e de um processo baseado em modelagem.

Isso representa um avanço sobre os métodos existentes, pela integração das características que interferem ao longo do caminho de contaminação da fonte para o receptor, como recarga, atenuação natural, solo, aquífero médio e poços de distribuição. Essa metodologia faz uso de um modelo de hierarquia difusa para avaliar a fonte potencial de perigo, o qual é um procedimento de raciocínio subjetivo, e um extenso banco de dados, aplicado no cálculo e determinação da importância de cada classe de impacto de contaminação da água subterrânea.

O índice de vulnerabilidade intrínseco é calculado com base em seis parâmetros, que controlam o potencial de poluição da água subterrânea, desenvolvidos como unidades de mapeamento em GIS: profundidade até a água, recarga, aquífero médio, mapa de combinação de cobertura e uso do solo, topografia e condutividade hidráulica. Todos os parâmetros foram desenvolvidos com mapas temáticos com uma grade de resolução de 20 metros, em formato raster, e a álgebra entre eles foi realizada no ArcView GIS.

Chang et al (2008), em estudo sobre avaliação de áreas para aterro sanitário, empregam uma metodologia de análise de decisão difusa associada com uma análise geo-espacial, para a seleção de locais de aterro de lixo.

A primeira fase da análise faz uso dos mapas temáticos em sistema de informação geográfica junto com variáveis ambientais, biofísicas, ecológicas e socioeconômicas, para apoiar a segunda fase que emprega a análise multicriterial difusa como uma ferramenta em apoio à decisão. Difere dos métodos convencionais de integração com SIG para seleção de aterro de lixo porque o método segue os dois passos sequenciais, ou duas fases, em lugar de um esquema totalmente integrado.

## 2.3 Lógica Difusa

Aristóteles, filósofo grego (384-322 a.C.), estabeleceu a ciência da lógica, como um conjunto de regras rígidas, para que conclusões pudessem ser logicamente válidas e aceitas. A utilização dessa lógica leva a uma linha de raciocínio baseado em premissas e conclusões, como, por exemplo: partindo-se da observação de que “todo ser vivo é mortal” (premissa um) e, ao ser constatado que “José é um ser vivo” (premissa dois), pode-se concluir que “José é mortal”.

A lógica aristotélica, também chamada de lógica ocidental, é binária, isto é, uma declaração é falsa ou verdadeira, não podendo ser ao



mesmo tempo parcialmente verdadeira e parcialmente falsa. Essa suposição e a lei da não contradição formam a base do pensamento lógico ocidental.

A lógica difusa viola essas suposições. O conceito de dualidade, estabelecendo que algo pode e deve coexistir com o seu oposto, faz a lógica difusa parecer natural, e até mesmo inevitável. A lógica aristotélica trata com valores “verdade” das afirmações, classificando-as como verdadeiras ou falsas. Não obstante, muitas das experiências humanas não podem ser classificadas simplesmente como verdadeiras ou falsas, sim ou não, branco ou preto. Exemplificando: É aquele homem alto ou baixo? A taxa de risco para aquele empreendimento é grande ou pequena? Um sim ou um não como resposta a essas questões é, na maioria das vezes, incompleta. Na verdade, entre a certeza de ser e a certeza de não ser, existem infinitos graus de incerteza ou infinitos graus de certeza.

O conceito de lógica difusa foi concebido por Lotfi Zadeh (1965), professor na Universidade da Califórnia, em Berkley, em seu trabalho “Conjuntos Difusos ou Nebulosos” como uma maneira de manejar e processar certos tipos de dados que em si não são exatos, mas imprecisos ou subjetivos. De uma maneira similar à lógica do cérebro humano, permite ser possível ordenar uma análise baseada em regras imprecisas e em dados difusos.

Para isso, foi necessário ampliar a teoria dos conjuntos e a lógica booleana, de maneira a que um indivíduo possa pertencer parcialmente a mais de um conjunto e que as operações lógicas possam utilizar variáveis contínuas, que podem assumir valores dentro de um conjunto entre o máximo e o mínimo, como 0,01 ou 0,80 para conjunto de valores  $0,0 \rightarrow 1,0$  em vez de variáveis discretas como 0 ou 1.

É possível, então, compreender a lógica difusa como um sistema matemático que modela funções não lineares, que converte entradas (dados) em saídas (dados) de acordo com os planejamentos lógicos que se utilizam de uma relação aproximada, fundamentando-se nos conjuntos denominados de difusos e em um sistema de inferência difusa, baseado em regras com a estrutura “se...então”, onde os valores lingüísticos da premissa e os conseqüentes estão definidos por conjuntos difusos.

Com os conjuntos difusos, pode-se então definir subconjuntos de maneira tal que um elemento qualquer possa ter em relação a eles diferentes graus de pertinência, e com as regras difusas processar as relações entre as variáveis difusas e obter um resultado difuso, e com base nesses resultados, respostas difusas ou discretas, resultando em uma nova abordagem na análise e manipulação das informações.

Em seu livro “Lógica Difusa – Aspectos práticos e aplicações”, Oliveira Jr. (1999) trata de maneira bastante compreensível os conceitos da lógica difusa, conjuntos difusos, operações com conjuntos difusos, controle difuso e suas aplicações aos sistemas de apoio à decisão.

### **2.3.1 Árvores de decisão**

Em 1997, Kustra afirmava que modelos de árvore de decisão para análise de dados pertencem à classe de modelos não paramétricos. Em vez de assumir a pretensa forma de uma distribuição constricta pelo conjunto de valores permissíveis para árvores de parâmetros, permite diferentes conjuntos de parâmetros em porções diferentes do espaço. Esse particionamento do espaço de previsões é encontrado para alcançar o grau mais alto de homogeneidade em cada região resultante. Então, em cada região, chamada de folha, um modelo paramétrico relativamente simples é ajustado aos dados dessa região. O modelo de árvore consiste, assim, em um esquema de particionamento onde os parâmetros são avaliados para cada uma das partições.

Desse modo, os esquemas de partições podem ser entendidos como um conjunto de decisões que determinam para cada folha um dado particular. As decisões a cada nó interno estão baseadas em algumas ou em todas as variáveis que estabelecem as estimativas.

O particionamento é formulado durante um ajuste ou um processo de preparação, junto com as estimativas dos parâmetros. Uma das características de árvores de decisão é o método de recursividade para desenvolver o esquema de particionamento, este é o porquê de ser da estrutura em árvore, um modo natural para descrever os resultados encontrados.

É possível dividir todo o espaço de análise das possibilidades em dois e, então, proceder ao mesmo em cada uma das partições resultantes e assim por diante. Cada uma das divisões é escolhida para minimizar o erro de edição na preparação dos dados, ou, às vezes, para maximizar a probabilidade, ou a probabilidade posterior de uma árvore resultante.

### **Definição formal de árvore de decisão**

Segundo Kustra (1997), pode-se definir formalmente uma árvore de decisão  $T$  como um número de nós finitos  $N$ , subconjunto positivo dos números naturais e três funções:

**Pai:**

$$\text{Pai}: N \rightarrow \{0\} \cup N : \text{Pai}(i) = \lfloor i/2 \rfloor \quad 0 \text{ (zero) significa que não há Pai} \quad (1)$$

Função  $\lfloor x \rfloor \rightarrow$  é a função base: o maior inteiro não excede a  $x$ .

**Filho:**

$$N \rightarrow \{\{0.0\}.N \times N\} : \text{Filho}(i) = \begin{cases} \{0.0\} & 0 \text{ (zero) se não houver Filho} \\ \{2i.2i+1\} \end{cases} \quad (2)$$

Essa função determina dois filhos para cada nó. Pode haver dois ou nenhum filho presentes. Por conveniência, pode-se definir para que a função retorne o filho da esquerda ( $e$ ) ou o filho da direita ( $d$ ).

Função Filho da esquerda

$$e(i) = \begin{cases} 0 & \text{se } \text{Filho}(n) = \{0.0\} \\ 2i & \text{se não} \end{cases} \quad (3)$$

Semelhante situação poderia ser definida para a função Filho da direita  $d(i)$ .

Deve-se notar que há um e somente um nó  $R = 1$  para o qual  $\text{Pai}(r) = 0$  que é chamado de nó raiz ou simplesmente raiz.

O conjunto de todos os nós pode ser dividido em dois subconjuntos separados de nós denominados de:

- Internos
- Folhas.

Onde nó  $t$  será uma folha, se e somente se,  $\text{filho} = \{0.0\}$  e para os nós internos, a função  $s : N \times X \rightarrow \{0.1\}$  determina qual o caminho a ser tomado: 0 (zero) significa à esquerda.

**Soft Decision Trees (SDT)**

SDT é um modelo que amplia os modelos de árvore de decisão tomando decisões a cada nó interno de probabilidade. Em vez de uma divisão determinística, tem-se um modelo de probabilidades em que o dado vem da sub-árvore à esquerda, baseado em um ou em todos previ-

sores. Além disso, parâmetros para os modelos ajustados às folhas são calculados por probabilidade de máximo, bem como o são os parâmetros para as probabilidades de divisão. Dessa forma, a árvore inteira assume um modelo de probabilidade e a área de predição resultante é diferenciável e contínua.

Para Kustra (1997), as SDT é uma nova classe de métodos não paramétricos de classificação e regressão. Estes métodos ampliam os modelos de árvore de decisão e guardam as características que fizeram as técnicas de árvore de decisão extensamente populares, apresentam características tais como: interpretabilidade, gráficos de resultados, seleção variável automática e detecção de interação, etc., que melhoram seu desempenho de previsão ou análise, tornando o modelo mais confiável. Isso é feito utilizando-se de cortes "macios" ou estocásticos, os quais resultam em limites de partições difusas e em uma superfície de predição ou análise contínua.

Experiências de simulação indicam que as SDT realmente possuem uma capacidade de previsão mais poderosa. As análises de dados reais mostram que o SDT também pode ajudar na interpretação.

Son (2002) apresentou um modelo de *soft decision tree*, como um novo conceito para auxiliar na elaboração de árvores de decisão. As principais vantagens desse método sobre os métodos tradicionais de árvores de decisão são compactação e transparência do conhecimento atual, alta acurácia nos resultados apresentados, resultando árvores mais estáveis e compactas.

Olaru e Wehenkel (2003) publicam o trabalho “*A complete fuzzy decision tree technique*”, como um novo método para análises de dados, com resultados significativamente mais acurados que o do método tradicional de árvores de decisão “*decision trees*”, à semelhança do trabalho citado anteriormente.

### **2.3.2 O modelo de inferência difusa de Mamdani**

Modelos de inferência difusa específicos são utilizados conforme as propriedades sintáticas definidas, ou seja, o modelo de processamento definido para o sistema de conhecimento difuso depende basicamente da forma de armazenamento de informações escolhidas.

De acordo com Evsukoff e Almeida (2003), Mamdani propôs, na década de 1970, um método de inferência que foi por muitos anos um padrão para a utilização dos conceitos da lógica difusa em processamento de conhecimento. As regras de produção em um modelo de Mamdani

possuem relações difusas tanto em suas “situações” como em suas “ações”.

O modelo de Mamdani possui módulos de interface que transformam as variáveis de entrada, baseadas em grandezas numéricas, em conjuntos difusos equivalentes e, posteriormente, as variáveis difusas geradas em variáveis numéricas proporcionais, adequadas para os sistemas de atuação existentes. Na Figura 1, é apresentado um diagrama do modelo de inferência difuso de Mamdani utilizado num sistema de processamento de conhecimento difuso.

No diagrama apresentado na Figura 1, o módulo “máquina de inferência” recebe os valores difusos resultantes do módulo de inferência de entrada “conversão escalar > difuso”, processa as regras existentes na base de conhecimento e gera, a partir da composição de todas as regras disparadas, um conjunto difuso de saída para o módulo de interface correspondente “conversão difuso > escalar”, e este finalmente converte o conjunto difuso resultante em valores escalares. Uma regra é disparada quando o processamento da “situação” para entradas atuais gera graus de pertinência maiores que zero.

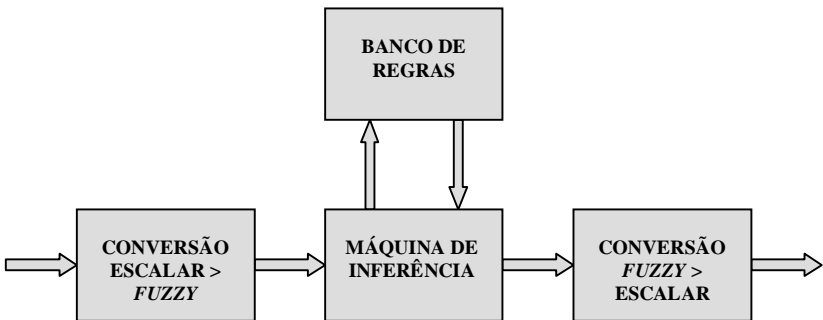


Figura 1 – Diagrama típico de um modelo de inferência de Mamdani.

Fonte: Campos Filho, 2004.

No modelo de inferência difusa de Mamdani, a regra semântica tradicionalmente usada para o processamento de inferência é denominada de Máx-Mín, a qual utiliza as operações de união e interseção entre conjuntos da mesma forma que Zadeh (1965).

Para a regra de produção difusa genérica, têm-se:

$x_i$  são as entradas do sistema,

$\tilde{A}_1, \dots, \tilde{A}_n$  são os termos primários definidos nas partições difusas de cada variável de entrada,

$y_1$  e  $y_2$  são as variáveis de saída e ,  
 $B_1, \dots, B_m$  são os termos primários definidos em suas partições difusas.

$$\text{SE } x_1 = \tilde{A}_i \text{ e } x_2 = \tilde{A}_j \text{ e } x_p = \tilde{A}_n \text{ ENTÃO } y_1 = B_i \text{ e } y_2 = B_m \quad (4)$$

Na conversão escalar  $\rightarrow$  difuso, as condições de cada uma das regras são processadas pela interseção difusa entre os graus de pertinência das entradas atuais nos termos primários definidos em cada uma, gerando um grau de pertinência de disparo para cada uma das regras de produção. Isso quer dizer que este processo calcula, para a  $k$ -ésima regra da base de conhecimento, um coeficiente de disparo  $D^{(k)}$ , onde os índices do número  $k$  nos conjuntos difusos denotam os termos primários que compõem a regra  $k$  na base de conhecimento, conforme equação abaixo:

$$D^{(k)} = T \left[ \mu_{\tilde{A}_1^k}(x_1), \mu_{\tilde{A}_2^k}(x_2), \dots, \mu_{\tilde{A}_p^k}(x_p) \right] = \min \left[ \mu_{\tilde{A}_1^k}(x_1), \mu_{\tilde{A}_2^k}(x_2), \dots, \mu_{\tilde{A}_p^k}(x_p) \right] \quad (5)$$

Sendo assim, as informações quantitativas são transformadas em informações qualitativas, em um processo de generalização, comumente chamado de fuzzyficação.

As regras para as quais o coeficiente de disparo é maior que zero são as que irão contribuir para o cálculo da saída correspondente do sistema de inferência. Por sua vez, os valores máximos dos conjuntos difusos de saída gerados por essas regras são limitados pelos coeficientes de disparo.

Por último, para cada variável de saída, contendo as informações sobre todas as regras disparadas para as entradas atuais, por meio de uma operação global de união, é constituído um conjunto difuso.

Na equação seguinte, é apresentada a composição deste conjunto para o caso da saída  $y_2$  da regra de entrada mostrada em (4). Esta variável de saída tem seu universo de discurso composto pelos  $y \in U_{y_2}$ .

$$\mu_{B_i}(y) = \bigvee_{k=1, \dots, n} \left[ T \left( D^{(k)}, \mu_{B_i}(y) \right) \right] = \max_{k=1, \dots, n} \left[ \min \left( D^{(k)}, \mu_{B_i}(y) \right) \right], \forall y \in U_{y_2} \quad (6)$$

A informação qualitativa é transformada em outra informação quantitativa pelo processo de inferência acima descrito, por meio de uma conversão. O conjunto fuzzy gerado durante o processo de inferência pode, então, ser utilizado diretamente em um diagnóstico qualitativo de tomada de decisão ou, no caso de um sistema de controle, ser convertido em um valor escalar proporcional para atuação externa por meio de atuadores convencionais.

A conversão difuso  $\rightarrow$  escalar transforma informações qualitativas em informações quantitativas, por um processo de especificação, comumente chamado de desfuzificação. Na regra de produção definida em (5), a partir do conjunto difuso de saída  $\mu_{B_i}(y)$  obtido pelo processo

de inferência, chega-se a um valor escalar  $y_2$  correspondente.

Os métodos de desfuzificação mais utilizados são: o do centro de área (CoA), o método da média dos máximos (MoM) e o do centro de massa (CoM); sendo o método do centro de área semelhante ao método do centro de massa. Os resultados dos métodos de desfuzificação de centro de massa e centro de área têm um maior enfoque na solução, enquanto o resultado do método média dos máximos apresenta a melhor solução plausível (CAMPOS FILHO, 2004).

Para um dado conjunto difuso de saída, proveniente de uma base de conhecimento processada, o método do centro de área calcula a abscissa (no universo de discurso definido para a variável em questão) do ponto do centro de área correspondente e a utiliza como valor escalar de saída.

$$\hat{y}_2 = \frac{\sum_{y \in U} y \times \mu_{B_i}(y)}{\sum_{y \in U} \mu_{B_i}(y)} \quad (7)$$





### 3 MÉTODO DE TRABALHO

O método apresentado é resultado do aprimoramento da evolução de vários projetos do grupo de pesquisa Valora, que trabalha com a aplicação de lógica difusa, sistema de informações geográficas, análise multicriterial e *backcasting* em apoio à gestão gerencial.

Dentre esses se destacam os seguintes trabalhos:

- “Análise de projetos para unidades de conservação, usando lógica *fuzzy*” (MEDEIROS, MELLO e CAMPOS FILHO, 2007).
- “Método para apoio à decisão na verificação da sustentabilidade de uma unidade de conservação, usando Lógica *Fuzzy*” (CAMPOS FILHO, 2004).
- “Avaliação de imóveis urbanos com utilização da Lógica Difusa” (SANTELLO, 2004).
- “Método de apoio à decisão na avaliação de impactos ambientais utilizando Lógica *Fuzzy*” (BOCLIN, 2003).
- “Desenvolvimento de uma metodologia para auxílio à decisão em zoneamento de unidades de conservação. Aplicação ao Parque Florestal do Rio Vermelho” (COSTA, 2003).
- “Método de apoio à tomada de decisão sobre a adequação de aterros sanitários utilizando Lógica *Fuzzy*” (MALUTTA, 2003).

As etapas do desenvolvimento deste método, denominado de ALDA (ArcGis, Lógica Difusa, Access), seguem o fluxograma apresentado na Figura 2.

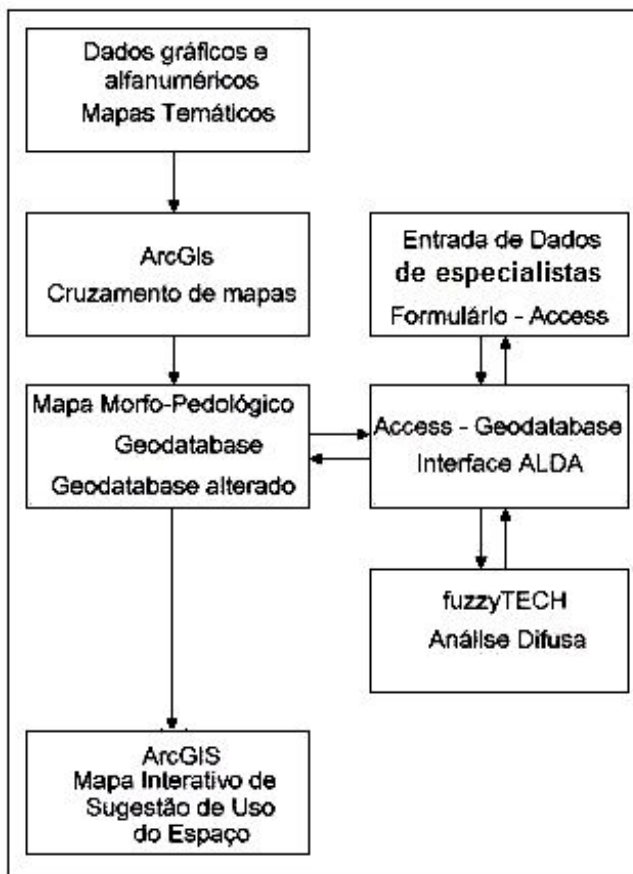


Figura 2 – Fluxograma da entrada e manipulação dos dados do Projeto, tendo como resultado o mapa interativo de sugestão de uso do espaço.

Fonte: do autor.

Inicialmente, foi feito um levantamento bibliográfico focado no objeto deste trabalho, envolvendo mapeamentos temáticos anteriores realizados por Coitinho e Fernandes (1981); Coitinho, Fernandes e Pires (1987); Magnago et al (1998); Kaul, Fernandes e Santos Neto (2002); Rosa (2003); Shimizu et al (2003) e Oenning, Moser e Shimizu (2005).

Foram utilizados para o desenvolvimento desse método os seguintes programas de computador:

ArcGis® – pela universalidade do programa, facilidade de trabalhar com análise de dados gráficos e com banco de dados georeferenciado, geodatabase.

MSAccess® – facilidade de gerenciamento de banco de dados relacionais e possibilidades de desenvolvimento de aplicações em Visual Basic for Applications (VBA).

fuzzyTECH® – facilidade em desenvolver projetos de árvores de decisão em lógica difusa e possibilidade de interação com interface desenvolvida em VBA.

### **3.1 Entrada de dados**

A entrada de dados é uma das principais etapas em um ambiente SIG e requer cuidados especiais, pois esses dados serão manipulados e analisados em busca das respostas finais e devem ser compatíveis com a escala de trabalho.

Neste método, têm-se duas fases de entrada de dados – os dados gráficos e alfanuméricos dos elementos espaciais e os dados das avaliações dos especialistas.

#### **3.1.1 Dados gráficos**

Os dados dos mapas temáticos de geologia, geomorfologia e solos, obtidos originalmente dos mapeamentos feitos pela equipe multidisciplinar do IBGE, foram digitalizados e transformados em polígonos fechados *shape files* com as ferramentas de conversão no ambiente de sistema de informações geográficas, ArcGIS® (Figura 3).

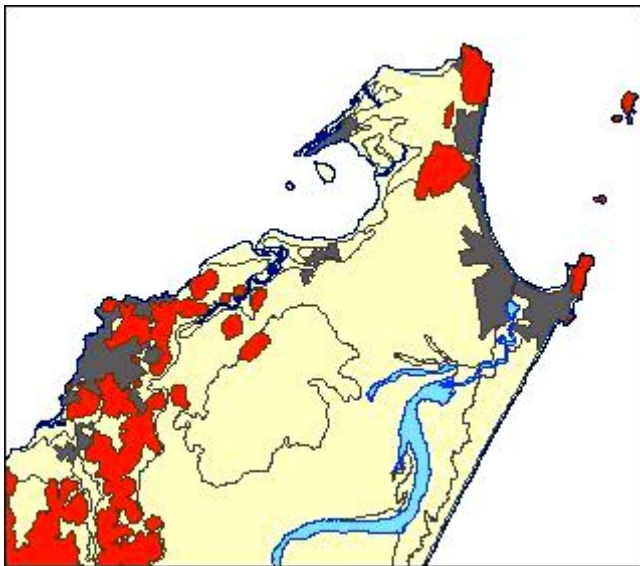


Figura 3 – Figura mostrando polígonos coloridos do Complexo Paranaguá e da área urbana já transformados em shapes, enquanto outros não coloridos ainda não foram transformados.

Fonte: do autor.

A função *Intersect* do *Analysis Tools* foi utilizada para o processamento das feições topológicas dos polígonos dos mapas geológico e geomorfológico, resultando em um novo mapa, o Mapa Morfoestrutural, cujo banco de dados georreferenciado, ou *geodatabase*, guarda as informações gráficas e alfanuméricas dos mapas iniciais, de geologia e de geomorfologia (Figuras 4 e 5).

Attributes of MORFOESTRUTURAL_BASE						
FID	Shape *	geologia	geomorfo	mest	CLASSE	CLASSIF
62	Polygon	PSp	Dc	Psp + Dc	III1	Rochas Granitoides com Dissecação em Colinas
63	Polygon	PSp	Dc	Psp + Dc	III1	Rochas Granitoides com Dissecação em Colinas
64	Polygon	PSp	Dm	Psp + Dm	III3	Rochas Granitoides com Dissecação em Montanhas
65	Polygon	PSp	Do	Psp + Do	III2	Rochas Granitoides com Dissecação em Morrianas
66	Polygon	PSp	Do	Psp + Do	III2	Rochas Granitoides com Dissecação em Morrianas
67	Polygon	PSp	Do	Psp + Do	III2	Rochas Granitoides com Dissecação em Morrianas
68	Polygon	PSp	Do	Psp + Do	III2	Rochas Granitoides com Dissecação em Morrianas
69	Polygon	PSp	Do	Psp + Do	III2	Rochas Granitoides com Dissecação em Morrianas
70	Polygon	Qha	Atfl	Qha + Atfl	1B	Sedimentos Quaternários em Planícies Flúvio Lagunares
71	Polygon	Qha	Atfl	Qha + Atfl	1B	Sedimentos Quaternários em Planícies Flúvio Lagunares
72	Polygon	Qha	Atfl	Qha + Atfl	1B	Sedimentos Quaternários em Planícies Flúvio Lagunares
73	Polygon	Qha	Atfl	Qha + Atfl	1B	Sedimentos Quaternários em Planícies Flúvio Lagunares
74	Polygon	Qha	Atfl	Qha + Atfl	1B	Sedimentos Quaternários em Planícies Flúvio Lagunares
75	Polygon	Qha	Atfl	Qha + Atfl	1B	Sedimentos Quaternários em Planícies Flúvio Lagunares
76	Polygon	Qha	Atfl	Qha + Atfl	1B	Sedimentos Quaternários em Planícies Flúvio Lagunares
77	Polygon	Qhc	Are	Qhc + Are	1E	Sedimentos Quaternários em Planos e Rampas Coluviais
78	Polygon	Qhc	Are	Qhc + Are	1E	Sedimentos Quaternários em Planos e Rampas Coluviais
79	Polygon	Qhc	Are	Qhc + Are	1E	Sedimentos Quaternários em Planos e Rampas Coluviais

Figura 4 – Recorte da tabela de atributos do Mapa Morfoestrutural mostrando os campos dos registros dos polígonos.

Fonte: do autor.

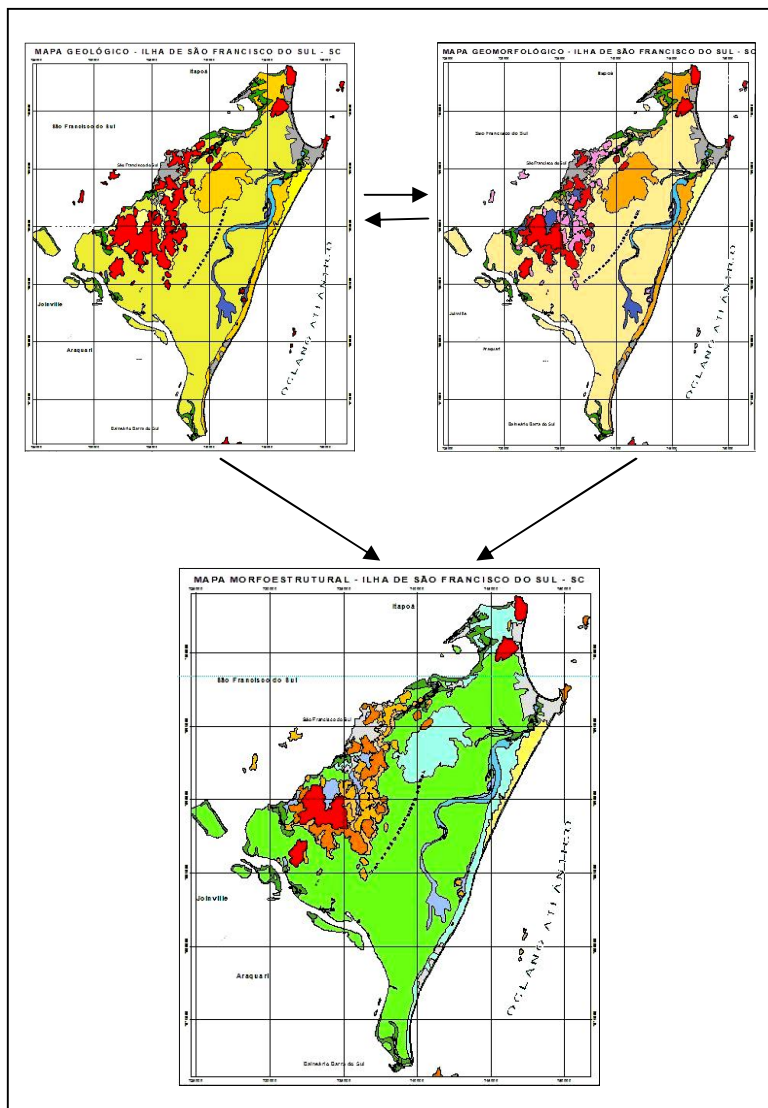


Figura 5 – Operação de cruzamento entre dois mapas temáticos gerando um terceiro mapa no ambiente do ArcGIS®. Fase de entrada de dados gráficos do Projeto.  
Fonte: do autor.

O Mapa Morfo-pedológico, ou mapa dos sistemas ou unidades naturais, segundo Fernandes (1999), resulta do cruzamento do Mapa de Solos com o Mapa Morfoestrutural.

Nele estão individualizados e identificados os polígonos (Figura 6), com características semelhantes em termos de tipo de rocha, classe de relevo e tipo de solo, resultantes dos processamentos e, por essa característica, seus polígonos podem ser considerados como sistemas naturais do meio físico. Este é o mapa utilizado como base para a elaboração do Mapa Interativo de Sugestão de Uso do Espaço.

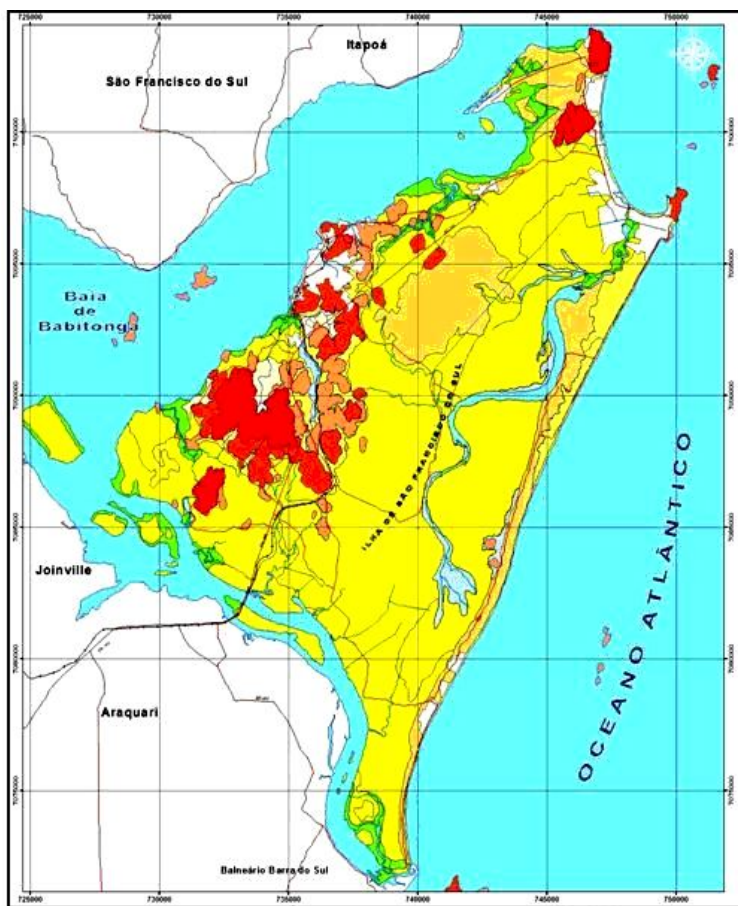


Figura 6 – Polígonos do Mapa Morfo-pedológico da Ilha de São Francisco do Sul.  
Fonte: do autor.

Por intermédio das ferramentas do ArcGis®, é gerado um banco de dados georreferenciado que contém toda essa informação alfanumérica indexada a cada um dos polígonos desse mapa, cujo recorte está apresentado na Figura 7.

	FID	Shape	pedologia	geologia	geomorfo	mest	mped	CLASSIF
	0	Polygon	AMa1	QHm1	Atm2	QHm1 + Atm2	QHm1 + Atm2 + AMa1	ID9
	1	Polygon	AMa1	QHm1	Atm2	QHm1 + Atm2	QHm1 + Atm2 + AMa1	ID9
	2	Polygon	AMa1	QHm2	Atm1	QHm2 + Atm1	QHm2 + Atm1 + AMa1	ID5
	3	Polygon	AMa2	Qhe	Aea	Qhe + Aea	Qhe + Aea + AMa2	IA1
	4	Polygon	AMa3	Qhe	Aea	Qhe + Aea	Qhe + Aea + AMa3	IA2
	5	Polygon	AP	QHmp	Am	QHmp + Am	QHmp + Am + AP	ID10
	6	Polygon	AP	QHmp	Am	QHmp + Am	QHmp + Am + AP	ID10
	7	Polygon	AP	QHmp	Am	QHmp + Am	QHmp + Am + AP	ID10
	8	Polygon	AP	QHmp	Am	QHmp + Am	QHmp + Am + AP	ID10
	9	Polygon	AR	PSp	Dc	Psp + Dc	Psp + Dc + AR	III N3
	10	Polygon	AR	PSp	Dc	Psp + Dc	Psp + Dc + AR	III N3
	11	Polygon	Ca1	PSp	Dc	Psp + Dc	Psp + Dc + Ca1	III N1
	12	Polygon	Ca1	PSp	Dc	Psp + Dc	Psp + Dc + Ca1	III N1
	13	Polygon	Ca1	PSp	Dc	Psp + Dc	Psp + Dc + Ca1	III N1
	14	Polygon	Ca1	PSp	Dc	Psp + Dc	Psp + Dc + Ca1	III N1
	15	Polygon	Ca1	PSp	Dc	Psp + Dc	Psp + Dc + Ca1	III N1
	16	Polygon	Ca1	PSp	Dc	Psp + Dc	Psp + Dc + Ca1	III N1

Figura 7 – Recorte da tabela de atributos do mapa Morfo-pedológico, mostrando os campos dos registros dos polígonos.

Fonte: do autor.

Foi feito, então, o cruzamento do Mapa Morfo-pedológico com o mapa dos limites da Unidade de Conservação Parque do Acarai, obtido de [http://www.fatma.sc.gov.br/index.php?option=com\\_content&task=view&id=84&Itemid=160](http://www.fatma.sc.gov.br/index.php?option=com_content&task=view&id=84&Itemid=160) em 21/10/2008, Fig. 8), transformado em formato de shape e que representa uma restrição legal de uso, para o espaço localizado dentro dos limites do Parque.

Com base na tabela de atributos desse mapa (Figura 9), foram criados novos campos para conter as variáveis primárias, as variáveis temáticas e a variável sistêmica, resultado que se busca, e que constitui em a árvore de decisão elaborada no fuzzyTECH®. Esse geodatabase é então exportado para o MSAccess, com o nome de SugUso (mdb) e será utilizado para a entrada das avaliações dos especialistas por meio do formulário da interface ALDA.





Figura 8 – Limites do Parque Estadual do Acaí.

Fonte: FATMA - <http://www.fatma.sc.gov.br> (junho 2009)

Attributes of sug_uso															
geoologia	geomorfologia	met	mped	parque	Shape Length	Shape Area	Suqilso	Condiso	Condisf	Conditat	Conclenq	CRPlano	CRSond	CRCond	CRMont
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ar	não	1212,759688	55653,9561	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca1	sim	326,159474	6859,59725	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca1	não	338,739581	8280,955	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca1	sim	347,879592	8447,74695	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca1	sim	362,671619	9006,49865	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca1	não	397,916251	11332,97145	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca1	não	641,259498	27917,25645	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca1	não	664,338378	30694,06515	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca1	não	754,154978	32105,1542	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca1	não	749,474719	32401,25965	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca1	não	787,095387	33863,22725	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca1	não	849,112764	34267,20005	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca1	não	774,193015	36512,94455	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca1	não	827,042635	38989,30295	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca1	não	821,137468	39849,0951	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca1	não	829,586148	43816,6595	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca1	não	829,528622	45522,12905	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Onic	Are	Onic + Are	Onic + Are + Ca1	não	1190,251528	46244,93515	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca1	não	908,069841	48190,62745	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca1	não	878,541973	52293,0385	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca1	não	1049,08942	53773,43965	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca2	não	1495,622308	163372,3707	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca2	não	2093,948051	271985,53005	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca2	não	2123,465331	301154,62785	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca2	não	2538,185887	348107,90885	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca2	não	2591,657685	398202,055	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca2	não	4049,281798	584706,60615	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca2	não	3755,160369	773931,36995	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca2	não	6336,14776	76297,98315	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca2	não	8880,840343	1233743,8479	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca2	não	13335,181628	2617621,5851	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca2	não	17765,062363	381465,52475	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca2	não	1181,344473	88398,06255	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>
Psg	Dc	Psg + Dc	Psg + Dc + Ca3	não	1735,004983	121710,81635	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>	<null>

1

Records (0 out of 211 Selected)

Options

Figura 9 – Recorte da tabela de atributos, mostrando os campos dos registros dos polígonos e campos acrescentados para as variáveis difusas.

Fonte: do autor.

### ***3.1.2 Entrada de dados dos especialistas***

Na entrada dos dados dos especialistas, as variáveis lingüísticas cumprem na lógica difusa o mesmo papel que as variáveis numéricas nos modelos matemáticos convencionais, com a diferença de que os valores que podem assumir são conceitos expressos em linguagem natural, tais como "alto", "quente", "forte", etc. Na lógica difusa, tais conceitos são representados por conjuntos difusos, com funções de pertinência representando suas fronteiras.

Dessa forma, uma variável lingüística pode ser vista como uma função que mapeia o domínio de valores da variável convencional que está representando no seu domínio de valores lingüísticos. Ela é, portanto, o instrumento da lógica difusa que permite quantificar e manipular conceitos qualitativos, sendo especialmente úteis para caracterizar incertezas em problemas em que as variáveis ou as relações funcionais não são bem definidas.

Dois aspectos essenciais para a modelagem de um sistema difuso são: os conceitos a serem quantificados tais como temperatura, idade e estatura e as características dos conceitos identificados tais como frio e quente para temperatura, jovem e idoso para idade e baixo e alto para estatura.

Esses conceitos quantificados em um sistema difuso são chamados de variáveis lingüísticas enquanto que as características correspondentes são chamadas de termos da variável lingüística.

Nos sistemas difusos, cada variável lingüística de interesse  $V \in R \subseteq U$ , onde  $R$  é chamado de conjunto de variável referencial o qual é um subconjunto do universo de discurso  $U$ , quantificado por um conjunto de termos lingüísticos  $TV_1, TV_2, \dots, TV_n$ .

Na escolha das variáveis primárias (lingüísticas), cujos valores serão definidos pelos especialistas, foram considerados aspectos que caracterizarem uma unidade homogênea do ponto de vista da resistência à erosão, ou seja, quanto mais estável menos vulnerável.

Estes aspectos são os seguintes:

#### **Rocha**

A resistência à erosão das rochas que compõem uma unidade de sistema natural é conseqüência do grau de coesão dessas rochas. Por grau de coesão das rochas entende-se a intensidade da ligação entre os minerais ou partículas que as constituem (CREPANI, 1996). Assim, a

origem da rocha e o tamanho dos grãos minerais que a compõem são de suma importância na determinação do grau de coesão.

### **Solo**

A resistência do solo ao processo de erosão é consequência do tipo de solo e de suas características físicas, tais como, estrutura, textura, porosidade, permeabilidade, profundidade e pedregosidade. Quanto mais bem estruturado o solo, maior resistência este apresenta à erosão para uma mesma situação de relevo, de modo que tal aspecto foi escolhido por ser o principal fator que contribui para a estabilidade do solo.

### **Relevo**

A influência do relevo no processo de erosão é consequência de sua morfologia, a qual se subdivide em morfografia, aspectos descritivos do terreno como sua aparência, e em morfometria, aspectos quantitativos do relevo como altitude, amplitude altimétrica, declividade e intensidade de dissecação pela drenagem. Quanto maior a declividade, a amplitude altimétrica e a dissecação da drenagem, menor a resistência à erosão do material sobreposto.

### **Clima**

Com relação ao clima, foi considerada como importante a frequência da precipitação pluviométrica anômala, pelo potencial de ocorrência de eventos perigosos, e dentre esses, as enchentes e os escorregamentos, que são os fatores preponderantes na erosão e na limitação do uso do espaço:.

A análise de todo esse conjunto de dados e suas inter-relações é que leva a uma melhor compreensão dos processos que geram a degradação ambiental e consequentemente inviabilizam o uso do espaço.

Como a vegetação, via de regra, é suprimida quando da ocupação antrópica, a cobertura vegetal não foi considerada nesta etapa de desenvolvimento do método, na elaboração dos indicadores das rochas, dos solos, do relevo e do clima, no enfoque deste estudo. Há que se considerar ainda que, mesmo áreas com cobertura vegetal natural, florestas, em estágio de recuperação, têm sofrido escorregamentos quando a intensidade pluviométrica é intensa, demonstrando, desse modo, a maior importância do substrato físico, rocha, solo e relevo.

Como as variáveis primárias são tratadas, na árvore de decisão, segundo blocos de regras pré-estabelecidos sua descrição será apresentada, considerando esses agrupamentos. Os agrupamentos consi-

derados são: Condicionantes ao uso (CondUso) e Condicionantes legais (CondLeg).

A classe das Condicionantes ao uso foi subdividida em Condicionantes físicas (CondFis), que expressam características intrínsecas das rochas, relevo e solo, e Condicionantes naturais (CondNat), que expressam a periodicidade dos efeitos das manifestações climáticas sobre o meio físico.

Para a definição das variáveis primárias que irão constituir a classe de Condicionantes físicas, a resistência à erosão, foi considerada como aspecto preponderante.

No caso do componente geológico, como o grau de coesão é uma característica da formação mineralógica e do arranjo original dos minerais da rocha, e esta formação mineralógica e arranjo dependem da origem da rocha, foi definido como uma das características condicionantes ao uso do espaço o Tipo de Rocha (TR) quanto à sua origem.

Assim sendo, considerou-se, como variável linguística, o Tipo de Rocha (TR); e os termos para esta variável, na ordem do menos condicionante ao mais condicionante ao uso são: rocha ígnea, rocha metamórfica de alto grau, rocha metamórfica de baixo grau, rocha sedimentar e sedimentos.

Quanto aos solos, o aspecto preponderante considerado na resistência à erosão, foi a estrutura do horizonte B deste solo e, por isso, como a condicionante principal, pois é a estrutura que dá a sustentação ao solo, ficando estabelecida como variável linguística o Tipo de Solo (TS), e os termos para essa variável, na ordem do menos condicionante ao mais condicionante ao uso, são: estrutura forte, estrutura moderada, estrutura fraca e sem estrutura, conforme se usa na classificação dos solos.

Quanto ao relevo, foi considerada a declividade como o aspecto preponderante quanto à resistência à erosão, pois quanto maior for seu valor, maior será a intensidade dos processos que atuam na dinâmica do meio, aumentando a possibilidade de erosão do solo. Adotou-se a tabela de classe de relevo (CR), que é utilizada tanto pela EMBRAPA, quanto pelo IBGE (SHIMIZU, VIEIRA E MOSER, 2003), em seus mapeamentos de solo, ficando estabelecida a Classe de Relevo (CR) como a variável linguística, e os termos para essa variável, também na ordem do menos condicionante ao mais condicionante ao uso, são: relevo plano, relevo suave-ondulado, relevo ondulado, relevo forte-ondulado, relevo montanhoso e relevo escarpado (Figura 10).

Classe de Relevo	Declividade em (%)	Declividade em (°)
Plano	0 – 3	2
Suave Ondulado	3 – 8	2 – 5
Ondulado	8 – 20	5 – 11
Forte Ondulado	20 – 45	11 – 24
Montanhoso	45 – 75	24 – 37
Escarpado	75 ->	37 ->

Figura 10 – Classe de relevo com declividade em porcentagem e em ângulo de inclinação.

Fonte: EMBRAPA.

Em relação às condicionantes naturais que expressam os efeitos das manifestações climáticas no contexto regional, optou-se por utilizar, como aspecto preponderante, a periodicidade de ocorrência de duas situações anômalas, que são os principais impeditivos ao uso do espaço: os escorregamentos (ES) e as enchentes ou alagamentos (AL).

Estabeleceu-se, então, para as variáveis linguísticas (AL) e (ES), segundo a ordem de ocorrência, da menos impeditiva para a mais impeditiva, tendo em vista a intensidade de problemas que essas situações ocasionam, os seguintes termos:

- **raros** – quando não ocorrem,
- **ocasionais** – quando ocorrem apenas em condições anômalas de pluviosidade e
- **constantes** – quando ocorrem com muita frequência.

Quanto às condicionantes legais, expressas pela legislação que trata da área de estudo, optou-se por dividi-las em duas classes: Leis (LE), que abrange as leis federais e estaduais e Plano Diretor (PD), que trata das leis municipais; isso pela possibilidade de o Plano Diretor ser localmente mais restritivo em suas disposições legais, que as leis federais ou estaduais. Por exemplo, quando uma área não apresenta legislação federal ou estadual restritiva ao seu uso, mas o plano diretor determina que essa área está destinada a um serviço público municipal, como um parque, inviabilizando qualquer outra utilização que não esta.

Para as variáveis linguísticas (CL) e (PD), segundo a abrangência das leis, ficou estabelecido, no sentido das leis menos condicionantes para as mais condicionantes, os seguintes termos:

- **livres** – quando não fazem qualquer restrição à utilização,
- **restritivas** – quando fazem restrições, mas não proíbem a utilização, caso de parques, praças e áreas de utilização pública, e
- **proibitivas** – quando proíbem a utilização, reservando a área para preservação permanente.

Assim, foram definidas como variáveis primárias (variáveis lingüísticas): Classe de Relevo (CR), Tipo de Rocha (TR), Tipo de Solo (TS), Alagamento (AL), Escorregamento (ES), Leis (LE) e Plano Diretor (PD). Como resultantes das interações ocorridas no interior dos blocos de regras, foram definidas as variáveis temáticas: Condicionantes ao Uso (CondUso), Condicionantes Naturais (CondNat), Condicionantes Legais (CondLeg); e dentre estas, como variável resultante final, a variável sistêmica: Sugestão de Uso (SugUso).

Segundo Malutta (2004), uma variável lingüística fuzzy tem o valor expresso qualitativamente por um termo lingüístico (que fornece um conceito à variável) e quantitativamente por uma função de pertinência. A variável lingüística é caracterizada por  $\{n, T, X, m(n)\}$ , onde:

$x$ : nome da variável

$T(x)$ : conjunto dos valores lingüísticos de  $x$ , termos da variável.

$U$ : universo discurso onde se define  $T(x)$ .

$M$ : regra semântica para associar cada valor ao seu significado,

Onde:

$$M(\textit{termo}) = \{(u, \mu_{\textit{termo}}(u)) \mid u \in [0, 1]\} \quad (8)$$

Tomando-se, por exemplo, a variável lingüística CR, por ter o maior número de termos (Figura 11), temos:

$x$ : CR (classe de relevo)

$T(x)$ : "plano", "suave ondulado", "ondulado", "forte ondulado", "montanhoso" e "escarpado".

$U$ : o universo discurso onde se define  $T(x)$ : de plano a escarpado.

E para o termo “plano” da variável Classe de Relevo, a regra  $M$  será:

$$M(\textit{plano}) = \{(u, \mu_{\textit{plano}}(u)) \mid u \in [0, 1]\} \quad (9)$$

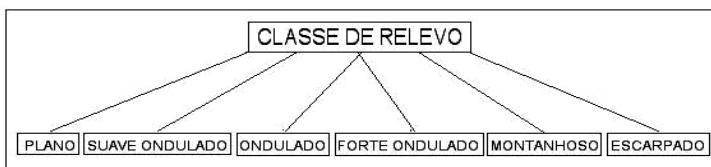


Figura 11 – Variável linguística Classe de Relevo e os valores linguísticos de seus termos.  
Fonte: do autor

As figuras 12, 13, 14 e 15 mostram a criação da variável Classe de Relevo no Project Editor do programa fuzzyTECH®.

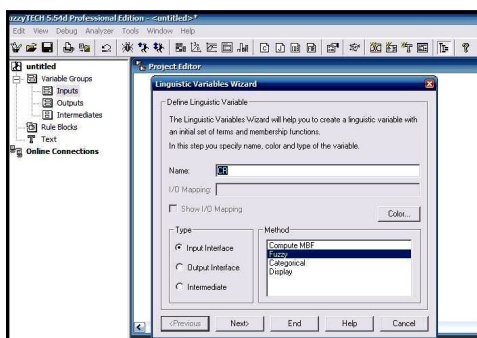


Figura 12 – Escolha do tipo Fuzzy para a variável de entrada CR (Classe de Relêvo) no Project Editor do fuzzyTECH®.

Fonte: do autor

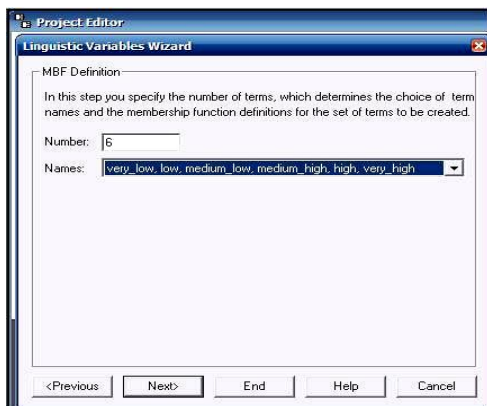


Figura 13 – Definição do número de termos que irá compor a variável linguística CR (Classe de Relevo), no fuzzyTech®.

Fonte: do autor



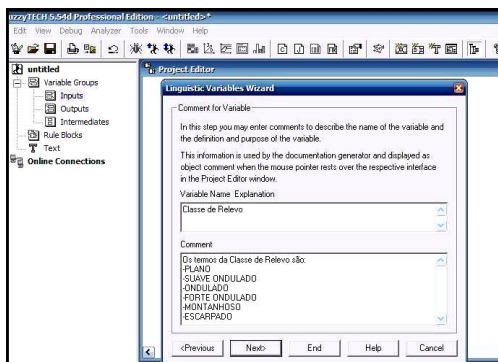


Figura 14 – Definição dos nomes dos termos que compõe a variável lingüística CR (Classe de Relevo), no fuzzyTech®.

Fonte: do autor

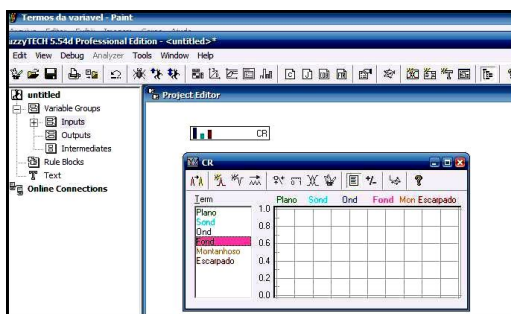


Figura 15 – Representação da variável e dos termos que a compõe, no fuzzyTech®.

Fonte: do autor.

Este mesmo procedimento foi realizado para cada uma das variáveis lingüísticas de entrada dos dados dos especialistas.

No ambiente do MSAccess, foi desenvolvido um formulário, para a entrada nos dados das variáveis primárias, fornecidos pelos especialistas para cada um dos polígonos identificados no mapa Sugestão de Uso do Espaço (Figura 16).

Esse formulário apresenta, na parte superior à esquerda, cinco campos, cujos dados são adquiridos do geodatabase descrito anteriormente e que apresentam a identificação do polígono, a legenda da geologia, da geomorfologia, da pedologia e se o polígono pertence ou não a alguma área com restrição legal.

Baseado nessas legendas e na descrição do(s) tipo(s) de solo e de relevo que ocorrem nesse polígono, o especialista pode então entrar

com os graus de pertinência de cada um dos termos das variáveis. Os valores que esses graus de pertinência podem assumir ocorrem no intervalo entre zero (nulo) e 1. Valor 1, quando a pertinência do termo é total e valor 0 ou nulo, quando não há pertinência.

Assim, quando em um polígono o solo apresenta sua distribuição em relevo suave ondulado e plano, o valor para esse campo da variável Classe de Relevo pode ser estipulado pelo especialista como 0,6 para o termo suave ondulado e 0,4 para o termo plano. Caso o solo apresente uma distribuição somente em relevo ondulado o valor da pertinência será 1 para o termo relevo ondulado, na variável Classe de Relevo, significando pertinência total da variável no termo ondulado.

Esses valores expressam o grau de pertinência atribuído aos termos da variável. Isso pode ser visto na Figura 17, onde foi atribuído pelo especialista, no formulário de entrada de dados, um valor entre 0 (zero) e 1 (um) para cada um dos termos variável Classe de Relevo (CR). Ex.: suave ondulado (0,6) e plano (0,4), com uma caracterização maior para suave ondulado. Assim sucessivamente são definidos os graus de pertinência de cada um dos termos de todas as variáveis lingüísticas que constituem as variáveis primárias ou de entrada da árvore de decisão do projeto. Esses valores serão então tratados internamente no fuzzyTECH®.

ID

331Qhm1

Geologia

Atm2

Geomorfologia

RQ01

Pedologia

Parque

Parque

não

Escolher ID

>

Executar

Salvar

STOP

NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico, A moderado, relevo suave ondulado e plano.

NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico

Classe de relevo	Tipo de Rocha	Tipo de Solo B
Plano	0,40 Sedimentos	Sem Estrutura
Suave Ondulado	0,60 Rocha Sedimentar	1,00 Estrutura Fraca
Ondulado	Rocha Met BG	Estrutura Moderada
Forte Ondulado	Rocha Met AG	Estrutura Forte
Montanhoso	Rocha Ignea	
Escarpado		

Alagamentos	Escoreamento
Ausentes	0,90 Ausentes
Ocasionais	0,10 Ocasionais
Constante	Constante

Leis	Plano Diretor
Livre	1,00 Livre
Restritivos	Restritivos
Proibitivos	Proibitivos

Resultados

Condicionantes Físicas >

0,5000

Condicionantes Naturais >

0,3125

Condicionantes Legais >

0,0860

Sugestões de Uso >

Pouco Restrito

Condicionantes ao Uso >

0,5000

Fonte: do autor

Figura 16 – Formulário de entrada dos dados das variáveis primárias no ambiente do MSAccess.

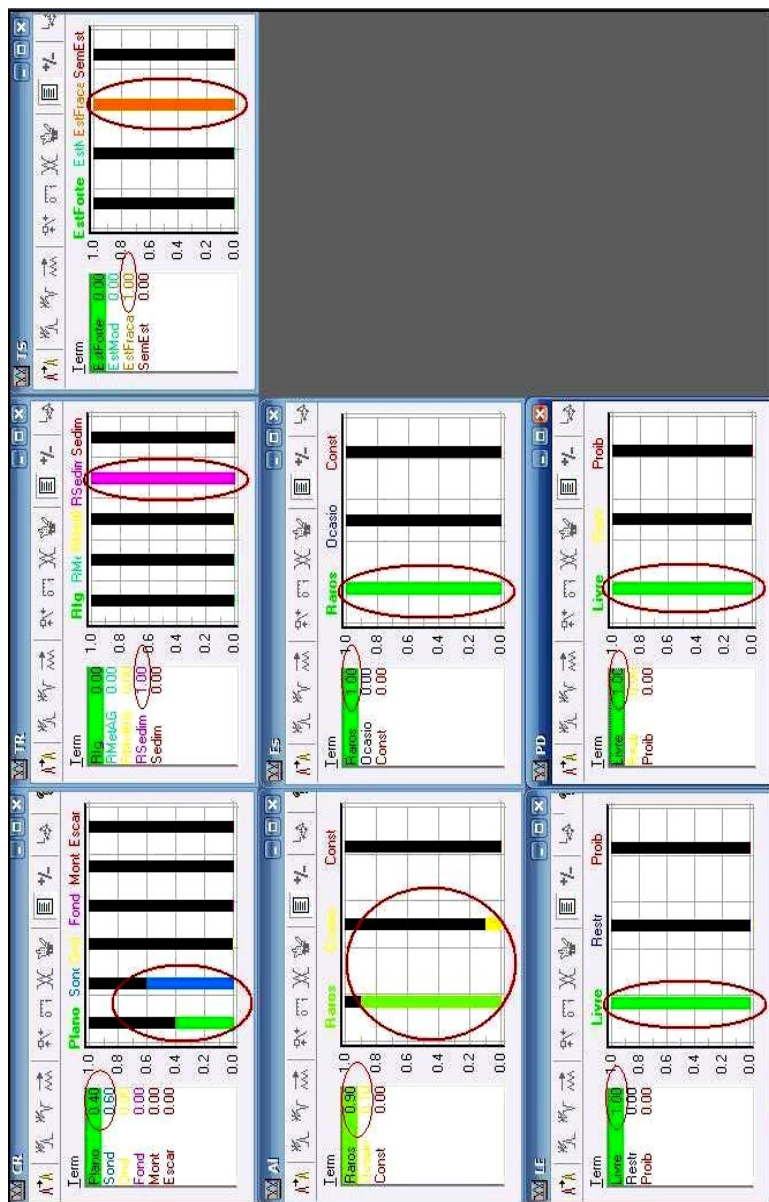


Figura 17 – Representação gráfica dos graus de pertinência dos termos de cada variável lingüística da árvore de decisão, definidos pelo especialista no formulário de entrada no fuzzyTECH® (fig.16)

Fonte: do autor.

### 3.2 Elaboração da árvore de decisão

No desenvolvimento do método apresentado, seguiu-se a temática teórica apresentada por Medeiros, Mello e Campos Filho (2007), descrita a seguir.

A estrutura foi construída em forma de árvore, onde se procurou primeiramente buscar qual a questão principal a ser respondida e que gera a incerteza. Essa questão é então subdividida em partes componentes e assim em diante, até que as variáveis possam ser estimadas diretamente por medições ou avaliações de especialistas. Diferentemente do método proposto por Olaru e Wehenkel (2003), que tem os crescimentos e podas de ramos particionados automaticamente, procurou-se uma estruturação do crescimento da árvore em que os critérios da definição de cada nó são feitos pelos *stakeholders*, assim como as podas.

A estruturação da árvore é feita no sentido topo-base, como apresentada por Boclin e Mello (2006) (Figura 18). As variáveis temáticas são avaliadas nas suas próprias métricas e podem assumir formas de variáveis lingüísticas. As avaliações de todas as variáveis são transformadas em funções de pertinência, e as operações entre critérios diversos (variáveis temáticas e de avaliação direta) são realizadas por meio de blocos de regras (se, então), como apresentadas em Troya (1996), Bueno (2003) e Prabhu (2004).

Na configuração do bloco de regras é apresentada a possibilidade de definição do operador fuzzy para esse bloco de regras. Para determinar os métodos de inferência de um bloco de regras, um operador de agregação e um operador de totalização do resultado, devem ser especificados. O padrão utilizado pelo fuzzyTECH®, o qual foi utilizado neste trabalho, é o operador Mínimo para a agregação e o operador Máximo para o resultado da agregação.

Min-Max:

$$\mu = (1 - \lambda) \min_{i=1..n} (\mu_i) + \lambda \max_{i=1..n} (\mu_1) \quad (10)$$

No bloco de regras, está o controle estratégico do sistema lógico difuso. Cada bloco confina todas as regras para a interação das variáveis que compõem aquele ramo ou, de um mesmo contexto. A parte da regra “se” descreve a situação para a qual a regra é designada, e a parte “então” descreve a resposta do sistema difuso nessa situação (Figura 20).

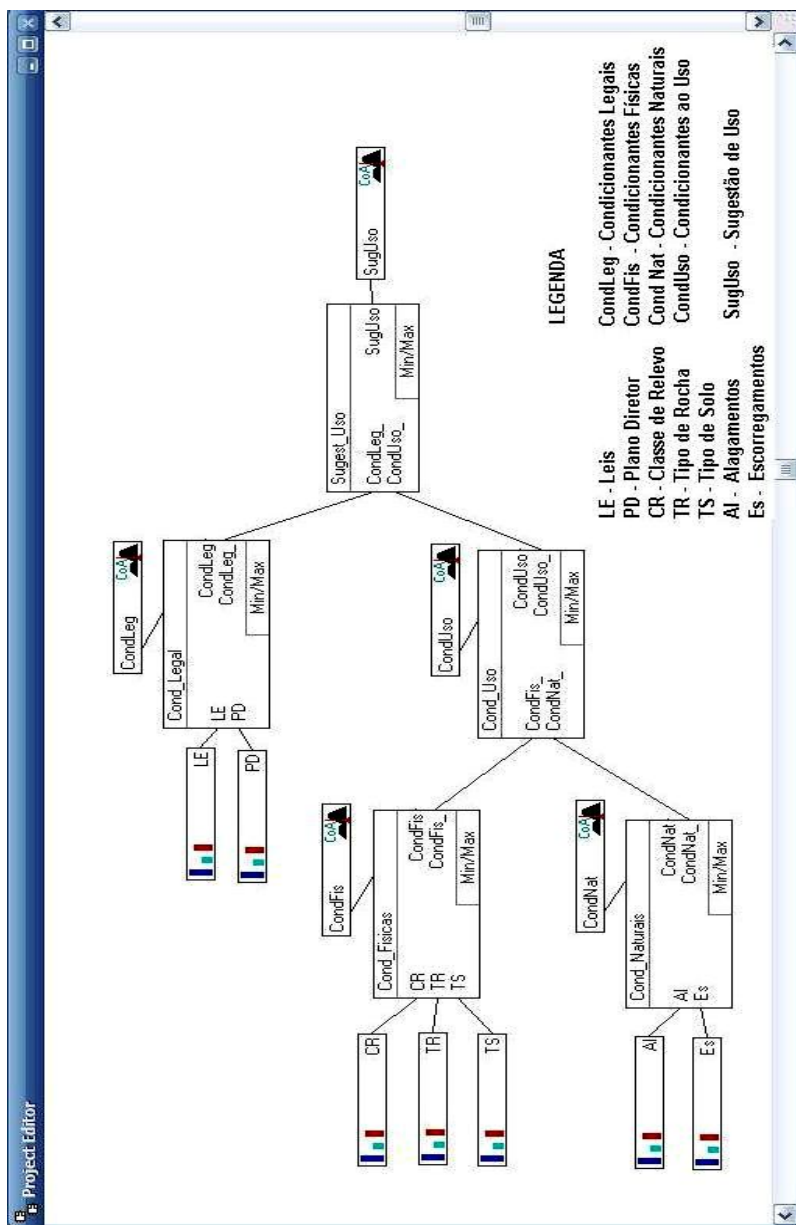


Figura 18 – Árvore de decisão para o método ALDA, desenvolvida no fuzzyTECH®.  
Fonte: do autor.

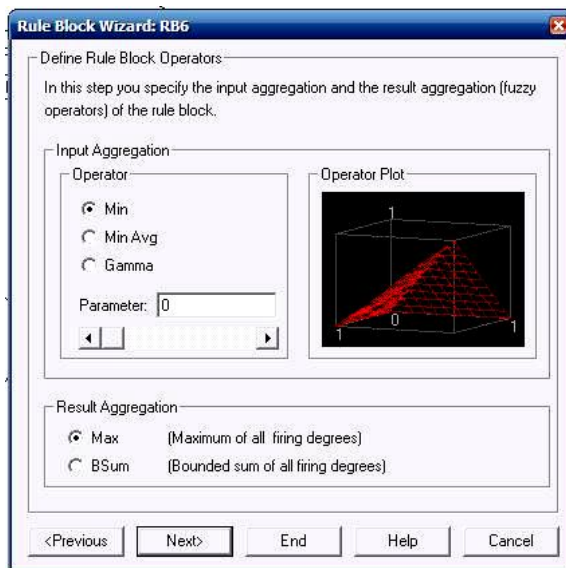


Figura 19 – Janela de definição dos operadores de cada bloco de regra da árvore de decisão.

Fonte: do autor.

A inferência difusa consiste nos três passos computacionais: Agregação, Composição, e Resultado da Agregação. É possível editar as regras difusas dos blocos de regra utilizando-se das ferramentas do *Spreadsheet Rule Editor* ou o *Matrix Rule Editor* do fuzzyTECH®.

A entrada da agregação é o primeiro passo da regra difusa de inferência e determina o grau com o qual é preenchida a parte SE da regra. Os operadores difusos são utilizados para agregar os graus de validade das várias condições pré escolhidas. Neste caso o operador é o padrão ;

Min-Max, Lambda = 0.0:      MIN    Minimum,      corresponde ao operador linguístico AND.

Min-Max, Lambda = 1.0:      MAX    Maximum,      corresponde ao operador linguístico OR

O resultado da agregação é dado pelo operador MAX, que seleciona o máximo valor do grau de cada regra que se aplica a este termo do bloco de regras.

#	IF			THEN		THEN	
	CR	TR	TS	DoS	CondFis	DoS	CondFis_
37	Ond	RMetBG	EstForte	1.00	CFBaixa	1.00	Baixa
38	Ond	RSedim	EstForte	1.00	CFBaixa	1.00	Baixa
39	Ond	RIg	EstMod	1.00	CFBaixa	1.00	Baixa
40	Ond	RMetAG	EstMod	1.00	CFBaixa	1.00	Baixa
41	Ond	RMetBG	EstMod	1.00	CFMedia	1.00	Media
42	Ond	RSedim	EstMod	1.00	CFMedia	1.00	Media
43	Ond	RIg	EstFraca	1.00	CFBaixa	1.00	Baixa
44	Ond	RMetAG	EstFraca	1.00	CFMedia	1.00	Media
45	Ond	RMetBG	EstFraca	1.00	CFMedia	1.00	Media
46	Ond	RSedim	EstFraca	1.00	CFMedia	1.00	Media
47	Ond	RIg	SemEst	1.00	CFMedia	1.00	Media
48	Ond	RMetAG	SemEst	1.00	CFMedia	1.00	Media
49	Ond	RMetBG	SemEst	1.00	CFAlta	1.00	Alta

Figura 20 – Parte do bloco de regras que rege a interação das variáveis que compõem a variável Condicionantes Físicas.

Fonte: do autor.

Na defuzzificação, o valor da variável lingüística de saída, será traduzido em um valor discreto, cujo objetivo é obter-se um único valor numérico discreto que melhor represente os valores fuzzy inferidos da variável lingüística, ou seja a distribuição de possibilidades, traduzindo a saída do domínio fuzzy para o domínio discreto. Os métodos mais utilizados para a defuzzificação são: Centro-da-Área (CoA), Centro-do-Máximo (CoM) e Média-do-Máximo (MoM).

Optou-se pela utilização do método de centro de área (CoA), também chamado Centro-de-Gravidade a para a defuzzificação dos resultados da análise da árvore de decisão, pois ele calcula o centróide da área composta que representa o termo de saída ( $\mu_{saída}$ ), que é composto pela união de todas as contribuições das regras. O método CoA calcula o centróide da área da seguinte forma:

$$u^* = \frac{\sum_{i=1}^N u_i \mu_{saída}(u_i)}{\sum_{i=1}^N \mu_{saída}(u_i)} \quad (11)$$



Entre os blocos de regras da árvore de decisão, os valores que estão na forma difusa são uma nova entrada para o próximo bloco de regras. Os valores numéricos auxiliam a compreensão dos decisores com relação a cada variável de saída, possibilitando conhecer e interpretar os resultados das interações ocorridas nos blocos de regras.

Essas informações são apresentadas no formulário de entrada (Figura 11), no campo denominado de resultados, como as condicionantes.

Desse modo, todas as variáveis são definidas, com seus campos de variação, e ligadas aos blocos de regras que definem suas interações no projeto. Na Figura 14, é mostrada parte do bloco de regras que rege a interação das variáveis relativas às condicionantes físicas, onde a variável CR está conectada, com as possíveis respostas para a variável Condicionantes físicas.

A lógica difusa permite trabalhar as operações de combinação das variáveis de forma qualitativa, em seus diversos níveis, gerando uma transparência não só na estrutura do método, mas também na verificação das possíveis interferências que os dados de entrada exercem sobre o resultado final.

A interação de todas as variáveis primárias e temáticas se dá pela interação dos blocos de regras e resulta na variável sistêmica ou de saída, no caso a variável SugUso que indica a resposta da análise para as possibilidades de uso para determinado polígono.

A Figura 21 mostra os gráficos das variáveis internas no ambiente do fuzzyTECH® com seus resultados após a entrada de dados de um polígono, bem como o gráfico com o resultado da variável sistêmica “SugUso”.

Optou-se por uma análise ao nível regional, em função de a escala dos mapas temáticos serem regionais; além disso, o enfoque deste estudo está voltado, principalmente, para a verificação da possibilidade da elaboração de uma interface computacional que possa fazer a interação dos dados dos três ambientes, ArcGis, Access e fuzzyTech. Assim sendo, os possíveis valores que essa variável de Sugestão de Uso do Espaço pode assumir para cada polígono do mapa foram definidos como:

- **Livre** – quando nenhuma das condicionantes, física, legal ou natural, apresenta resultados restritivos.
- **Pouco restrito** – quando algum dos constituintes das condicionantes físicas, naturais ou legais apresenta necessidade de

estudos mais acurados para sua utilização. Por exemplo, áreas de ocorrência de sedimentos inconsolidados.

- **Supervisionado** – quando mais de um dos constituintes das condicionantes físicas, naturais ou legais apresentam necessidade de estudos mais acurados, e a utilização desse espaço deve ser monitorada. Por exemplo, áreas de solos com estrutura fraca em relevos montanhosos.
- **Muito restrito** – quando um ou mais dos constituintes das condicionantes físicas, naturais ou legais apresentam fortes impedimentos para sua utilização. Por exemplo, áreas definidas como parques estaduais, cuja utilização é definida em lei específica, ou áreas com relevo escarpado.
- **Preservação** – quando as condicionantes legais assim o determinem, independentemente do resultado das outras condicionantes. Por exemplo, áreas de mangue ou de dunas.

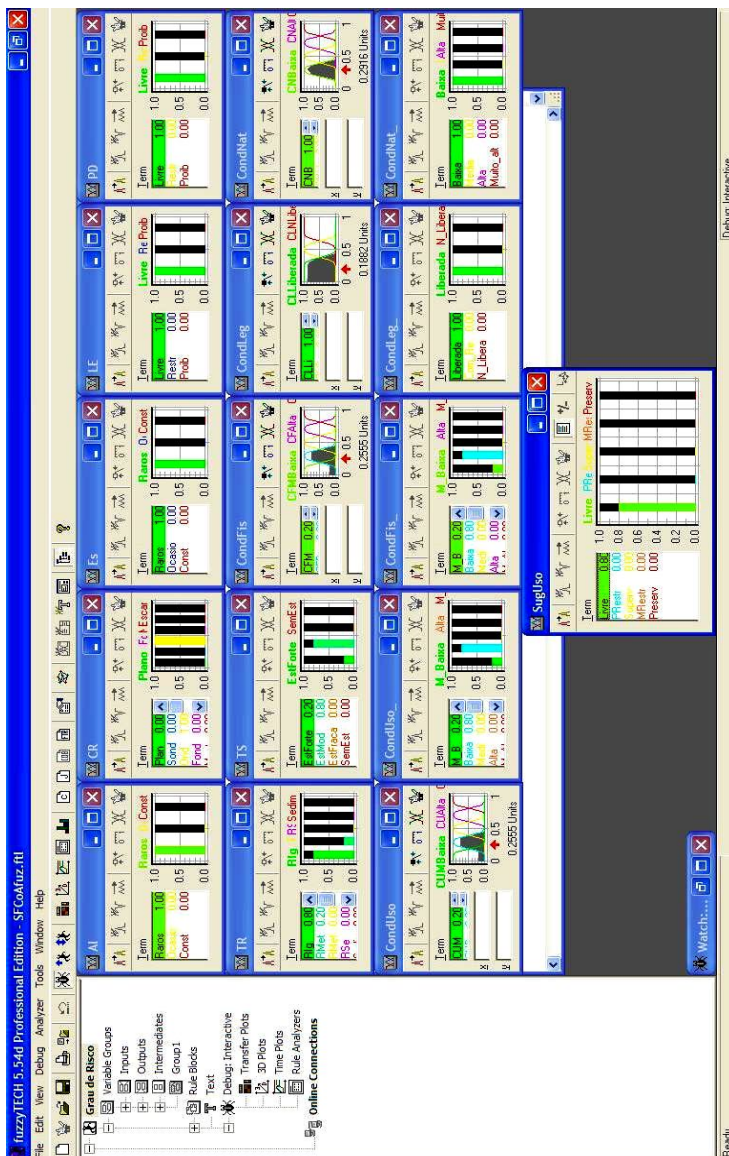


Figura 21 – Variáveis apresentadas pela análise da árvore no fuzzyTECH®.  
Fonte: do autor.

### 3.3 Processamento dos dados e resultado da análise

Depois que os dados foram digitados, ao se clicar o botão “executar”, essas variáveis são levadas, por meio de uma interface desenvolvida no ambiente do MSAccess®, a fim de serem analisadas na árvore de decisão elaborada no ambiente do fuzzyTech®. Os resultados obtidos por essa análise, representados pelas variáveis temáticas (CondFis, CondNat, CondUso e CondLeg) e pela variável sistêmica (SugUso), retornam, através da mesma interface, sendo então apresentados no formulário no campo dos resultados. Para que todos os dados sejam gravados no geodatabase, deve-se clicar no botão salvar. Esse procedimento permite que uma verificação seja feita antes da gravação do geodatabase, evitando erros.

É possível, então, no ambiente do SIG, elaborar um mapa utilizando o campo da variável sistêmica “SugUso” como tema, obtendo-se, dessa maneira, o Mapa de Sugestão de Uso do Espaço, onde cada polígono expressa com sua cor, segundo a legenda do mapa, a informação da variável “SugUso”, quanto à sugestão ao uso desse espaço. A interatividade acontece quando, depois de pronto o Mapa de Sugestão de Uso do Espaço, uma alteração é feita nos dados de um polígono, utilizando-se do formulário da interface no MAccess®. Essa alteração, após a análise difusa, é automaticamente repassada, bastando fazer a atualização da tela do mapa para que seja alterado o status da cor correspondente ao novo resultado da variável “SugUso” para o polígono (Figura 22).

Isso permite que os especialistas possam rever os dados de cada polígono, realizando atualizações e correções, sem ter que novamente proceder à elaboração do mapa final, bastando apenas fazer a atualização da tela onde o mapa está ativo. Para o gestor, o processo todo fica transparente. A cada acesso de consulta, esse mapa estará sempre atualizado segundo os dados contidos no geodatabase e, consequentemente, para o ArcGis.

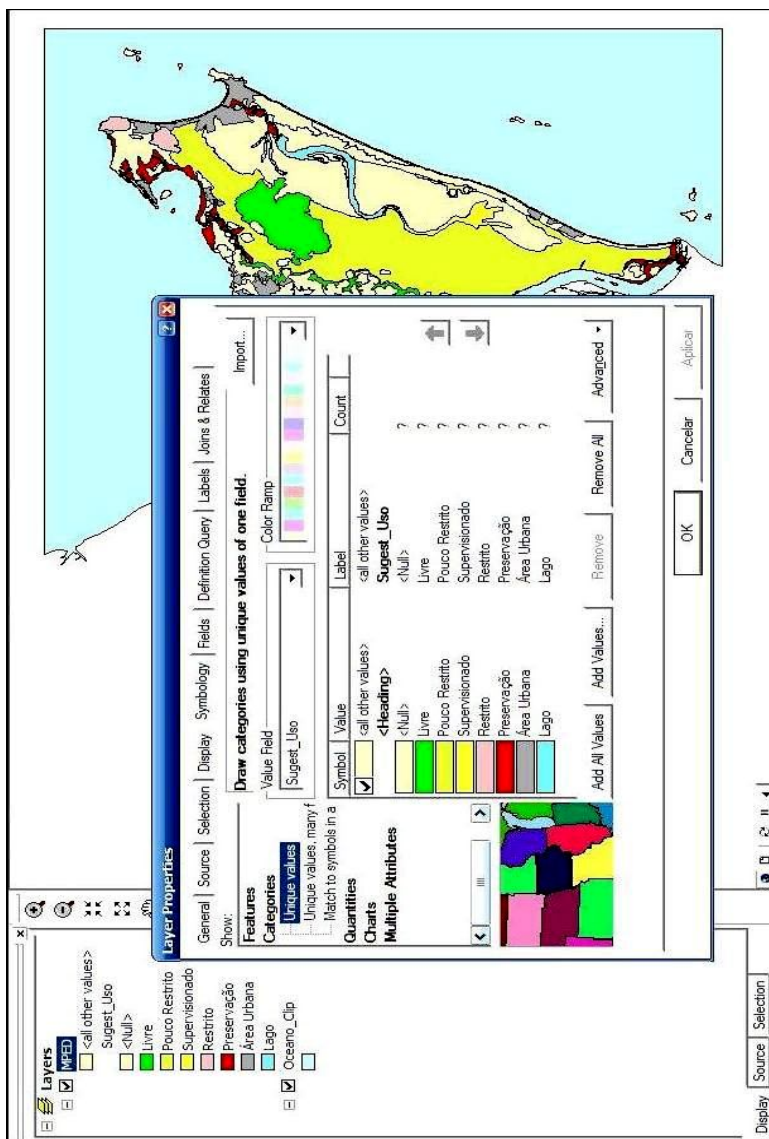


Figura 22 – Utilização das ferramentas do Layer Properties no ArcGIS®, para a elaboração do Mapa Interativo de Uso do Espaço (figura 51), com os dados das variáveis que se encontram nos registros dos polígonos, no geodatabase (sugeso.mdb).

Fonte: do autor.



## 4 ÁREA DE ESTUDO

A validação do método foi realizada com dados do mapeamento relativo ao Projeto Nacional de Gerenciamento Costeiro, realizado pela equipe técnica do IBGE/SC, na Ilha de São Francisco do Sul. Esta ilha situa-se no município de mesmo nome, e sua sede dista aproximadamente 190 quilômetros a norte de Florianópolis.

A escolha da Ilha de São Francisco do Sul, como área de estudo deste Projeto de Pesquisa, deu-se pelos seguintes fatores:

- A área está incluída no âmbito de trabalho do Plano de Gerenciamento Costeiro desenvolvido pelo IBGE para a porção norte da faixa litorânea, tendo sido mapeada em escala 1:50.000.
- Por ser uma ilha, que contém sistemas fechados, ideais para um estudo piloto desta natureza.
- Pelo município carecer de um melhor embasamento geotécnico para um gerenciamento territorial que priorize uma utilização mais racional do seu espaço.

### 4.1 Localização

A faixa litorânea de Santa Catarina se estende por 531 km e está incluída nos segmentos litorâneos denominados Estuários e Lagunas, segundo a compartimentação<sup>2</sup> adotada por Carvalho e Rizzo (1994) para a Zona Costeira brasileira, abrangendo 34 municípios costeiros, de Passo de Torres até Itapoá (Figura 23)

---

<sup>2</sup> A compartimentação corresponde à individualização de um conjunto de áreas com características semelhantes, o que leva a se admitir que tenham sido formadas em determinadas condições morfogênicas ou morfoclimáticas que apresentem relações litoestratigráficas ou que tenham sido submetidas a eventos tectodinâmicos semelhantes.

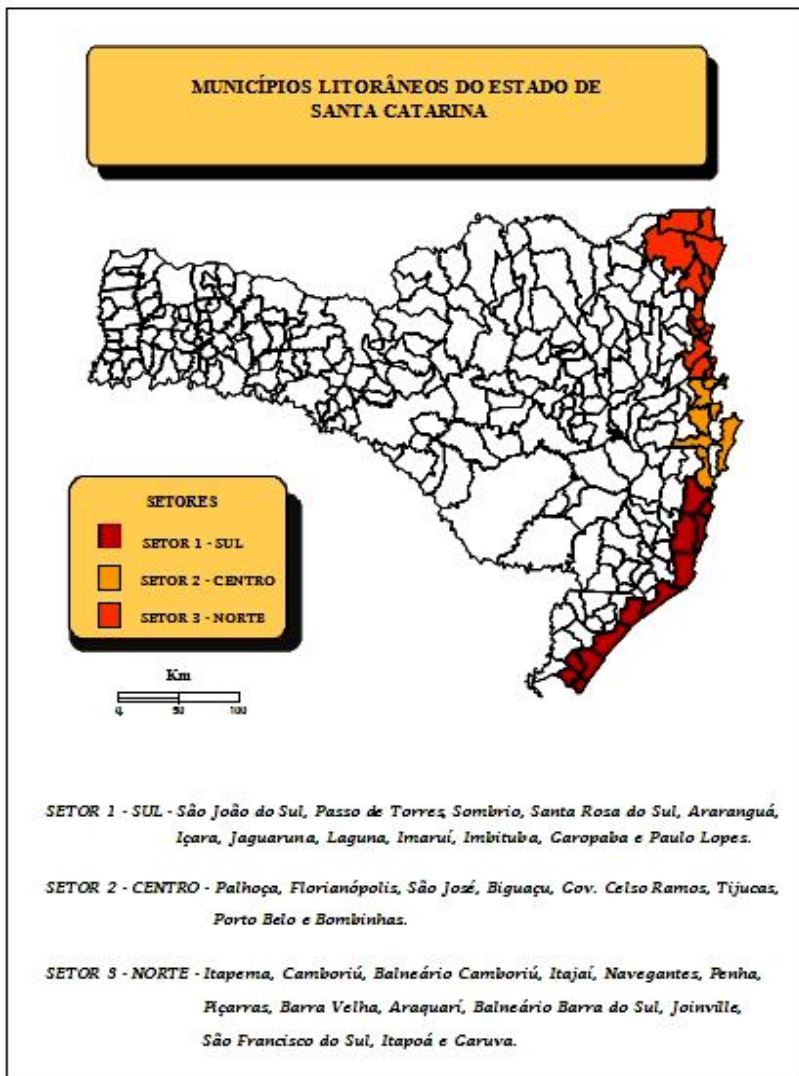


Figura 23 – Municípios Litorâneos do Estado de Santa Catarina.  
Fonte: Fernandes (1999).

A área objeto deste Projeto de Pesquisa situa-se no município de São Francisco do Sul, desmembrado do município de Nossa Senhora das Graças, criado e instalado pela Carta Régia de n°. 1660, de janeiro de 1662, com nome de Nossa Senhora do Rio São Francisco do Sul. Sua



denominação atual foi alterada pelo Decreto de nº. 238, de 12 de dezembro de 1938, e sua sede dista aproximadamente 190 quilômetros de Florianópolis pela BR-101, nas coordenadas: Latitude 26°14'36" S e Longitude 48°38'17" W.

Este município localiza-se na Microrregião Colonial de Joinville, na porção norte do litoral do Estado de Santa Catarina e apresenta uma superfície atual de 496,9 km<sup>2</sup>. Aproximadamente 60% desta área se constitui na Ilha de São Francisco, e os restantes 40% estão na região continental, e está contido nas Folhas SG-22-Z-B-II-2 e SG-22-Z-B-II-4, que fazem parte do Mapeamento Sistemático do Brasil, editadas pelo IBGE na escala 1:50.000. Limita-se a norte com os municípios de Itapoá e Garuva, a oeste com o município de Joinville, a sul com os municípios de Barra do Sul e Araquari e a leste com o Oceano Atlântico. As principais localidades deste município são: Ubatuba, Enseada, Balneário Marina Capri, Colônia Marechal Luz, Laranjeiras, Miranda, Gamboa e Porto Rei (Figuras 24 e 25).

Segundo dados da Sinopse Preliminar do Censo Demográfico de 2000, o município possui uma população urbana em 37.000 habitantes, com uma densidade demográfica de 74,44 hab./km<sup>2</sup>. Sendo o porto de São Francisco do Sul um dos principais corredores de exportação de bens, do Estado.

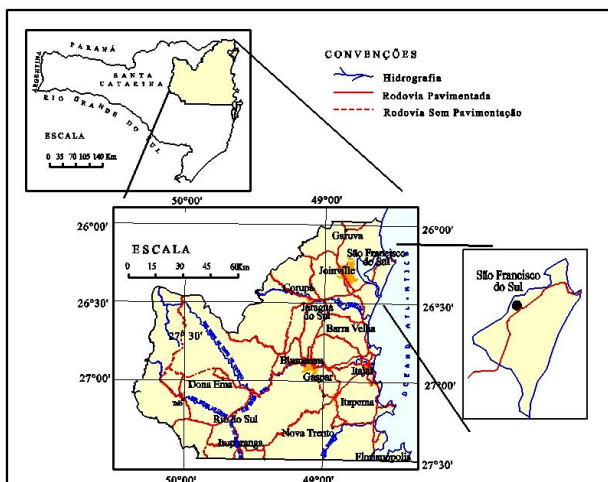


Figura 24 – Localização da área de estudo.

Fonte: Fernandes (1999)

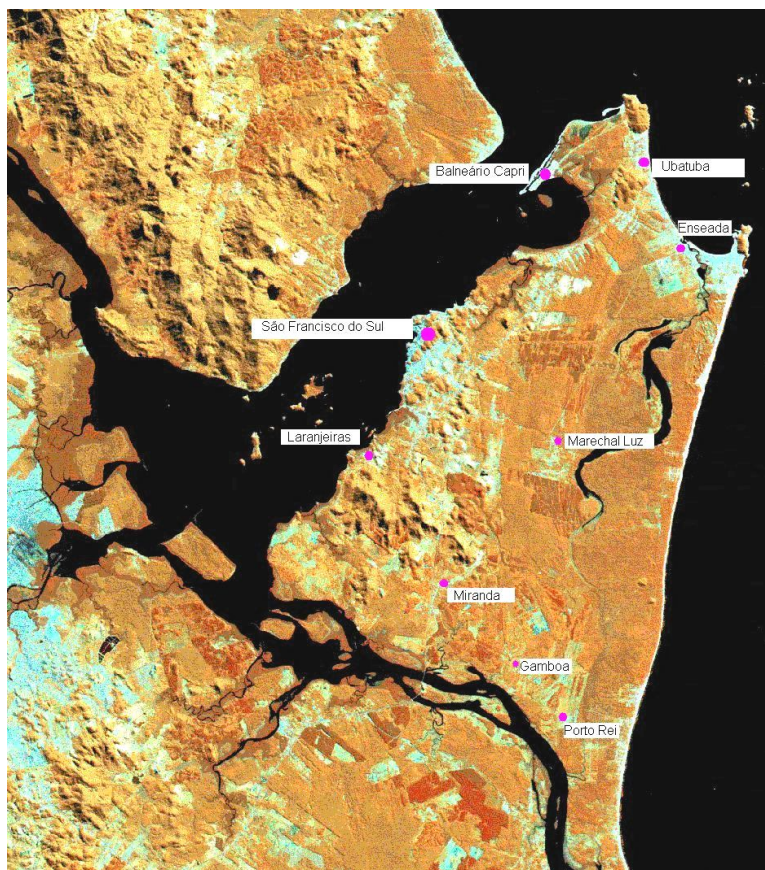


Figura 25 – Imagem Landsat TM 1994 Composição: Bandas 4, 5 e 7, mostrando a planície marinha, os altos topográficos e as principais localidades.

Fonte: Fernandes (1999)

## 4.2 Caracterização da área de estudo

Estão descritos a seguir as principais características do meio físico da área, segundo os aspectos de geologia, geomorfologia e solos.

### 4.2.1 Geologia

Geologicamente, a Ilha está inserida no contexto do Cinturão Móvel Paranaçu, que se estende do leste paranaense ao extremo sul do Estado de São Paulo, sendo constituída por um conjunto de rochas íg-

neas, formado por uma grande variedade de granitoides, em geral deformados (foliados), porções restritas (séptos) de gnaisses, xistos, quartzitos e anfibolitos de idade Proterozoica Superior e sedimentos resultantes das deposições marinhas, eólicas e aluviais pertencentes ao Quaternário. Utilizaram-se para a classificação geológica, os mesmos conceitos do trabalho de Kaul, Fernandes e Santos Neto (2002) realizado para o Projeto Gerenciamento Costeiro.

### **Complexo Paranaguá (PSp)**

Na área do presente trabalho, o conjunto de litologia representativa deste referido Cinturão está denominado de Complexo Paranaguá.

Este complexo é constituído principalmente por rochas granitoides leucocráticos, de cor cinza claro a cinza rosado, equi a inequigranulares, de granulação fina a média, que apresentam uma foliação cataclástica incipiente e presença de xenólitos<sup>3</sup>. São constituídos principalmente por quartzo, feldspato potássico, plagioclásio, anfibólios e/ou biotita, muitas vezes transformados em clorita e epidoto. Como minerais acessórios temos principalmente apatita, titanita, zircão e opacos (SIGA JR. 1995).

Gnaisses e migmatitos com estruturas dobradas, apresentando presença de xenólitos vários, e xistos de médio a alto grau de metamorfismo também se fazem presentes dentre as litologias que constituem o Complexo Paranaguá na Ilha de São Francisco do Sul (Figuras 26, 27, 28, 29, 30, 31 e 32).

---

<sup>3</sup> Xenólito (do grego *xenos* = estranho) é um fragmento de rocha que é envolvido por uma rocha maior durante o desenvolvimento e endurecimento desta última. Em geologia este termo é aplicado quase exclusivamente na descrição de inclusões de fragmentos estranhos em rochas ígneas. Esses fragmentos podem ter sido arrastados das paredes de uma câmara magmática, das paredes de um tubo de lava ou arrastados ao longo da base de um fluxo de lava na superfície terrestre. Um xenólito é sempre mais antigo que a sua rocha encaixante.

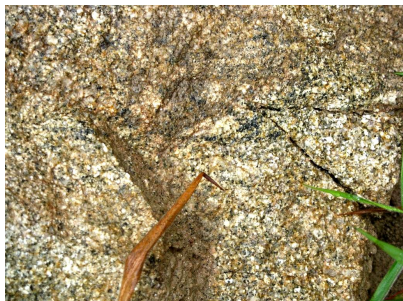


Figura 26 – Granitoide equigranular do Complexo Paranaguá, próximo ao porto da Balsa que liga a localidade de Laranjeiras à localidade de Estaleirinho.

Fonte: do autor.



Figura 27 – Granitoide do Complexo Paranaguá, localidade do Terminal da Petrobras, Praia da Enseada em São Francisco do Sul.

Fonte: do autor.



Figura 28 – Granitoide do Complexo Paranaguá, com xenólito de rocha bandeada dobrada, localidade da Praia de Paulas.

Fonte: do autor.





Figura 29 – Migmatito do Complexo Paranaguá, mostrando uma grande complexidade, com estruturas dobradas, xenólito de rocha bandeada e porções afaníticas, localidade da Praia de Paulas.

Fonte: do autor.

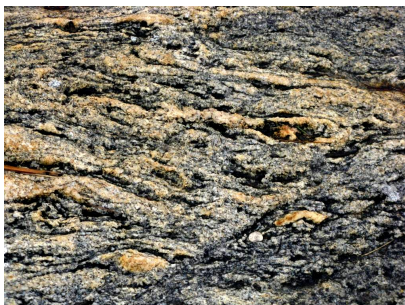


Figura 30 – Migmatito do Complexo Paranaguá, mostrando uma grande complexidade, com estruturas dobradas em contato com massa de rocha não dobrada, localidade da Praia de Paulas.

Fonte: do autor.



Figura 31 – Xenólito de xisto do Complexo Paranaguá, envolto por massa quartzo-feldspática, veios de quartzo e xenólito de rocha máfica imersos em rocha granitóide, mostrando a variedade litológica do Complexo Paranaguá; localidade da Praia de Paulas.

Fonte: do autor.



Figura 32 – Gnaiss do Complexo Paranaguá, intemperizado, mostrando bandejamento de faixas quartzo-feldspáticas claras, intercaladas com faixas de mi-nerais máficos, localidade de Paulas, corte de estrada.

Fonte: do autor.

### **Sedimentos Aluvionares (QHa)**

Areias, cascalheiras e sedimentos siltico-argilosos, inconsolidados, depositados em planícies de inundação, terraços e calhas da rede fluvial atual.

### **Sedimentos Colúvio-Aluvionares (QHca)**

Material gravitacional de encosta, formando depósitos de colúvio-elúvio e aluviões recentes, constituídos por sedimentos inconsolidados, com grande variação granulométrica, incluindo depósitos areno-argilosos e areno-siltico argilosos, com estratificação incipiente ou ausente, incluindo depósitos "in situ".

### **Sedimentos Arenosos de Origem Eólica (QHe)**

Sedimentos eólicos, representados por dunas fixas ou móveis, atuais e subatuais, compostas por areias finas e médias, quartzosas, bem arredondadas e bem selecionadas, com tonalidades esbranquiçadas, exibindo raras laminações plano-paralelas ou cruzadas de alto ângulo. Inclui material eólico dissipado, depositado sobre um substrato irregular. Estes sedimentos foram observados principalmente ao longo da costa leste da Ilha de São Francisco do Sul, formando um campo de dunas (Figura 33).



Figura 33 – Campo de Dunas que ocorre na Praia Grande, porção leste da Ilha de São Francisco do Sul.

Fonte: do autor.

### **Sedimentos Flúvio-Lagunares (QHfl)**

Os sedimentos flúvio-lagunares compõem-se de material argilo-arenoso, inconsolidado, mal selecionado, comumente rico em matéria orgânica favorecendo a formação de depósitos turfáceos.

### **Sedimentos Marinhos (QHm)**

Estes sedimentos são constituídos por areias quartzosas, finas a médias, bem selecionadas, com laminações plano-paralelas e cruzadas que podem se truncar mutuamente. Apresentam cores claras em tons de creme e amarelado, individualizados cronologicamente em terraços subatuais (QHm2) e atuais (QHm1), depositados em planícies de marés e feixes de restingas, (Figuras 34 e 35).



Figura 34 – Sedimentos marinhos do Quaternário, constituindo terraços atuais, QHm2.

Fonte: do autor.



Figura 35 – Sedimentos marinhos do Quaternário, constituindo terraços subatuais, com diferenças altimétricas que podem chegar a 20 metros.

Fonte: do autor.

### **Sedimentos Argilo-Siltico-Arenosos (QHmg)**

Estes sedimentos flúvio-lagunares são constituídos principalmente de material argilo-arenoso, inconsolidado, mal selecionado, rico em matéria orgânica, depositados em ambientes caracterizados pela influência das marés e são típicos dos mangues atuais (Figura 36).



Figura 36 – Ambiente de Mangue, ao longo do Rio Monte de Trigo.

Fonte: do autor.

### **Sedimentos Marinhos Atuais (QHmp)**

São constituídos por cordões de areias bem selecionadas de cores claras, cremes a amareladas, que se constituem nos sedimentos das praias atuais (Figura 37).



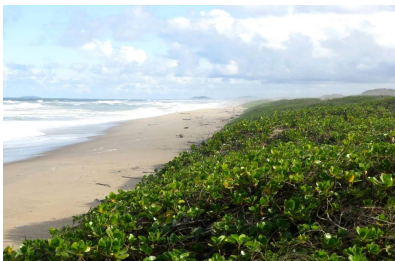


Figura 37 – Sedimentos quaternários marinhos atuais, que constituem as praias, Praia Grande.

Fonte: do autor.

#### ***4.2.2 Geomorfologia***

Tal cenário é geomorfológicamente representado por morros de formas aguçadas, colinas arredondadas, terraços marinhos, dunas, planícies marinhas, aluviais e ambientes deposicional de mangue, que constituem os principais ambientes naturais da ilha (FERNANDES, 1999).

A área em estudo foi classificada geomorfológicamente em dois domínios morfoestruturais principais, com base no trabalho de Rosa (2003) para o Projeto Gerenciamento Costeiro.

#### **Domínio Morfoestrutural Depósitos Sedimentares Quaternários – I**

Este domínio desenvolve-se de forma contínua na Ilha de São Francisco do Sul, fazendo as ligações entre as antigas ilhas ou pontais que hoje fazem parte do Domínio Morfoestrutural das Rochas Granitoides. Sua distribuição é mais ampla na parte leste da ilha, alongando-se em direção ao sul.

As planícies, que se constituem na forma dominante do relevo, foram modeladas em sedimentos arenosos e areno-argilosos, com níveis de cascalho fino e médio, depositados durante os episódios relacionados às oscilações climáticas quaternárias.

Os ambientes marinho, eólico e lacustre que determinaram as condições deposicionais vigentes à época, ocorreram isoladamente ou se justapõem. A diversidade de ambientes e de forma de relevos (modelados) está representada na subdivisão do domínio, em três unidades geomorfológicas distintas: Planícies Marinhas, Planícies Fluvio-lacustres e Planícies Coluvio-aluvionares.

## **Unidade geomorfológica Planícies Marinhas – I.A**

Compreende o conjunto de ambientes associados a sedimentos transportados e depositados pelo regime praiial, pela ação das ondas, correntes e marés, onde se incluem além das praias os terraços marinhos e os manguezais. Estão associados a esta unidade os campos de dunas estabilizados, associados ao regime de ventos litorâneos. A planície é mais estreita ao norte alargando-se ao sul, tendo como seus limites ocidentais principais, o Domínio geomorfológico da Pré-Serra do Mar.

Os modelados que compõem esta unidade servem de ligação entre os diversos pontais rochosos favorecendo a deposição de sedimentos, onde ocorrem enseadas, planícies arenosas que abrigam diversas praias.

As formas de relevo assim como o desenho da Ilha de São Francisco do Sul são resultantes de episódios climáticos quaternários, especialmente no Holoceno, quando o local foi afetado pelas oscilações climáticas de longa duração. As variações glácio-eustáticas modelaram extensos e elevados terraços de construção marinha cujos níveis são evidentes em grande porção da Ilha.

Esses terraços propiciam o aparecimento de cristas praias trabalhadas pela ação eólica e baixadas com níveis mais atuais de deposição marinha trabalhados por cursos d'água estreitos e alongados, de aspecto brejoso e paludal.

Na parte nordeste da Ilha ocorrem depósitos eólicos originados de antigos cordões praiais que se encontram estabilizados em função da cobertura vegetal existente. Em pequena parcela da área citada ocorrem dunas móveis que se encontram em processo adiantado de remobilização devido à expansão urbana nos balneários de Enseada e Praia Grande.

A ação das marés, embora de amplitude reduzida, associada à deriva litorânea, altera os perfis praiais, fato este notado principalmente na porção norte da Ilha nas praias do Forte e Capri. As marés contribuem ainda para o regime dos pequenos cursos d'água conhecidos como gamboas, alimentados em sua grande maioria pela flutuação de seu nível.

Outras feições geomorfológicas importantes, associadas principalmente ao regime de marés, são os manguezais, conhecidos igualmente como planícies de marés. Estão localizados junto à foz de alguns rios tais como o rio Monte de Trigo e Capri em menor parcela no interior da Baía da Babitonga em locais de pouca declividade do fundo oceânico, que apresentam baixos níveis de energia cinética. Apresentam como característica principal, solo lodoso, rico em matéria orgânica.

### **Unidade geomorfológica Planícies Aluviais – I.B**

Ocupando uma distribuição espacial descontínua entre as Planícies Marinhas e os Planos e Rampas Colúvio-aluviais, englobam as várias bacias hidrográficas que fazem parte da vertente atlântica do litoral norte catarinense.

Esta unidade é o resultado do assoreamento de paleo-lagunas por sedimentos predominantemente areno-argilosos da natureza aluvial e/ou coluvial.

Caracteriza-se por modelados tipicamente planares constituídos por terraços e auréolas de colmatagem, eventualmente alagados e associados lateralmente a sedimentos provenientes de modelados contíguos, principalmente da planície marinha.

Os cordões praias e a remobilização eólica levantaram cristas que confinaram massas de água formando uma laguna estreita e colmatada, que tem sua direção de drenagem no sentido Sul-Norte, com certa sinuosidade. Os canais adutores da porção montante, que alimentam esta laguna, estão dispersos e bastante assoreados. Estes canais se encontram em um nível superior ao da influência das marés, sendo por isso de água doce, utilizados para captação de água potável.

A parte a jusante da laguna, chamada localmente de rio Acaraí, sofre influência das marés, sendo altamente piscosa e com ocorrência de pequenos manguezais.

### **Unidade geomorfológica Planos e Rampas Colúvio-Aluviais – I.C**

Caracterizada como área de transição entre ambientes continentais e marinhos, diferencia-se da unidade anterior pela granulometria e cor dos sedimentos que a constituem como também por situar-se em posição altimétrica mais elevada.

Com relação à granulometria, observa-se que a fração argilosa é mais abundante em função do intemperismo químico dos feldspatos; quanto à cor dos sedimentos, constata-se que estes geralmente apresentam coloração vermelha e/ou amarelo-avermelhada.

As áreas de ocorrência dos modelados colúvio-aluvionares não são muito extensas na Ilha de São Francisco do Sul, estando localizadas nas encostas de declividades mais acentuadas do Domínio geomorfológico pré-Serra do Mar, formando rampas de declividades variadas e restritamente formas tabulares e baixos platôs.

Os modelados foram esculpidos sobre sedimentos depositados por fluxos torrenciais nas porções distais das rampas sedimentares e ou

leques de espriamento. Localmente, alguns depósitos encontram-se ravinados pelo escoamento das águas superficiais.

Os modelados rampeados foram elaborados por processos morfogenéticos gravitacionais e/ou pluviais, em decorrência das flutuações climáticas ocorridas ao longo do episódio quaternário.

## **Domínio Morfoestrutural das Rochas Granitoides – II**

As litologias que constituem este sistema correspondem basicamente a granitoides, que sofreram ação de falhamentos e fraturamentos, localmente com sentido SW-NE. Essas rochas, do Proterozoico Superior, apesar de serem constituídas por minerais de grande resistência ao intemperismo, apresentam-se bastante rebaixadas em relação às rochas do Domínio geomorfológico da Serra do Mar.

O Domínio Morfoestrutural das Rochas Granitoides é aqui representado pela Unidade geomorfológica Serra do Mar.

### **Unidade geomorfológica Serra do Mar – II D**

Esta unidade apresenta-se como um conjunto de colinas e morros de média altitude, algumas vezes ultrapassando a cota dos 200 metros.

Pertence ao domínio geológico da unidade litoestratigráfica Complexo Paranaguá e guarda semelhança de formas de relevo com as rochas da Serra do Mar, desta se distinguindo pela condição de rebaixamento altimétrico e posicionamento isolado mais a leste.

Corresponde ao domínio das rochas granitoides que se situam principalmente ao longo da costa oeste da Ilha de São Francisco do Sul, compreendendo os relevos em forma de colinas e morros próximos à cidade de mesmo nome, com alguns pontos isolados na porção nortenordeste, correspondentes às antigas ilhas ligadas por sedimentos quaternários.

O relevo da unidade pré-Serra do Mar destaca-se na paisagem em meio a planícies que formam a Ilha, emergindo como um relevo residual e acentuando a amplitude altimétrica.

No contato entre estas duas unidades, ocorrem os depósitos colúvio-aluvionares que dão origem a solos do tipo cambissolo. Apresentando os modelados de dissecação fluvial e/ou pluvial que não obedecem necessariamente ao controle estrutural.

## **Análise Morfodinâmica dos Tipos de Modelados**

A base para a obtenção das classes de relevo é o Mapa Geomorfológico, onde as diferentes categorias de modelados foram agrupadas ou divididas de acordo com suas peculiaridades; a divisão dos diferentes tipos genéticos de modelados constitui a base sobre a qual se identificaram as principais características geomorfológicas da área.

No que diz respeito à avaliação morfodinâmica distinguiram-se graus relativos à estabilidade em decorrência dos processos morfogenéticos atuantes. A relação morfologia/morfodinâmica constitui o referencial teórico fundamental sobre o qual o relevo é avaliado com vistas aos diferentes tipos de uso, tendo sido definidas cinco classes de relevo a saber: Bom, Regular, Restrito, Impróprio e Inapto.

### **Classes de relevo**

Abrangendo uma série de tipos de modelados cada classe caracteriza-se por possuir relações morfológicas e morfodinâmicas próprias que lhe conferem um balanço que varia do positivo ao negativo com referência à sua utilização agrícola ou urbana. Por requerer estudos específicos de proteção ambiental, a atividade extrativa mineral não foi considerada.

- **Bom** – Nesta classe, os modelados planos ou pouco dissecados com nível do lençol freático no subsolo e a fraca intensidade de atuação dos processos morfogenéticos não apresentam nenhuma restrição ao seu uso pleno.
- **Regular** – Nesta classe os modelados não constituem um obstáculo ao uso pleno porém a atuação dos processos morfogenéticos, apesar de sua pouca intensidade (média a fraca), requer o uso de técnicas de manejo adequadas a cada caso.
- **Restrito** – Nesta classe tanto os modelados quanto os processos morfogenéticos podem se constituir em fatores restritivos ao uso pleno, em caráter localizado.
- **Impróprio** – O caráter restrito passa a ser generalizado chegando a ser inapto ao uso em áreas localizadas. A utilização de técnicas de manejo adequadas a cada caso é imprescindível sob pena de degradação ambiental acelerada.
- **Inapto** – Áreas de preservação permanente por imposição legal e/ou pelas características dos modelados e dos processos morfogenéticos. Os processos morfogenéticos atuantes são de

forte intensidade quando sobre modelados ativos podendo vir a sê-lo sobre modelados herdados, quando reativados pela ação antrópica.

## **Tipos de Modelados**

Os principais tipos de modelados geomorfológicos que ocorrem na Ilha de São Francisco do Sul estão classificados de acordo com dois tipos principais:

### **Modelados de Dissecação – D**

Dissecação fluvial e/ou pluvial que não obedece necessariamente ao controle estrutural. De acordo com as formas dominantes do relevo, os modelados de dissecação são classificados em:

#### **Dc – Colinoso**

Dissecação com vales pouco encaixados, abertos com amplitude altimétrica pequena, constituindo elevações convexo-côncavas conformando colinas.

#### **Do – Morraria (outeiro)**

Dissecação com vales encaixados, mais fechados e com amplitudes altimétricas maiores que o colinoso, constituindo elevações convexo-côncavas, conformando morros (Figura 38 e 39).



Figura 38 – Morro João Dias, avistado da Praia de Itaguaçu, ao norte da Ilha de São Francisco do Sul.

Fonte: do autor.



Figura 39 – Morro de Ubatuba no norte da Ilha de São Francisco do Sul.  
Fonte: do autor.

## **Dm – Montanhas**

Dissecação com vales bem encaixados, fechados, podendo conter terraços alveolares; topos extensos convexo-côncavos e vertentes com diferentes graus de inclinação, por vezes desdobradas em patamares. As amplitudes altimétricas superiores a 300 metros conferem a qualificação de montanhas às elevações aí existentes, conhecidas como Morro das Laranjeiras e Morro da Cruz.

## **Modelados de Acumulação – A**

Constituído por formas de relevo geradas em ambientes de deposição marinhos, eólicos, lacustres, torrenciais e fluviais. De acordo com a característica dominante do relevo e com a natureza dos sedimentos que os constituem.

Os modelados de acumulação são classificados em:

### **Am – Planície Marinha**

Área plana ou levemente ondulada, resultante de processos de acumulação marinha recente; as variações do nível do mar pela ação das marés, ocasionam afloramentos localizados e que correspondem às praias atuais (Figura 40).



Figura 40 – Planície marinha no norte da Ilha de São Francisco na Praia do Forte.  
Fonte: do autor.

### **Amg – Planície de Maré ou Mangue**

Áreas planas, levemente inclinadas em direção ao mar, localizadas junto à foz dos rios; periodicamente inundadas pelo ingresso da água do mar em decorrência das marés. Solos predominantemente halomórficos, geralmente recobertos por uma vegetação típica dos manguezais (Figura 41).



Figura 41 – Vista da Planície de maré ao longo do Rio Monte de Trigo.  
Fonte: do autor.

### **Atm – Terraço Marinho**

Área plana, levemente inclinada em direção ao mar, geralmente apresentando ruptura de declive em relação às áreas contíguas. Localmente, ocorrem setores deprimidos com deficiência de drenagem, formando lagoas nos períodos de precipitação pluviométrica mais abundantes. De acordo com a idade, posição altimétrica e características geomorfológicas atuais, podem ser identificados vários níveis de terraços marinhos que podem ocorrer concomitante ou isoladamente (Figuras 42 e 43).





Figura 42 – Terraço marinho, mostrando a ruptura do terraço mais alto com o nível da praia, Praia Grande.

Fonte: do autor.



Figura 43 – Terraço marinho à direita, mostrando área de alagamento nas partes mais baixas

Fonte: do autor.

### **Atfl – Terraço Flúvio-Lacustre**

Área plana resultante dos processos de deposição flúvio-lacustre, ligados ao retrabalhamento pela rede de drenagem dos sedimentos que colmataram paleo-lagunas.

### **Aea – Eólica Ativa**

Depósitos arenosos originados pela ação do vento, apresentando formas características de dunas e/ou planícies arenosas (Figura 44).



Figura 44 – Depósitos arenosos originados pela ação do vento, ao longo da Praia Grande.  
Fonte: do autor.

### **Are – Rampas Colúvio-Eluviais**

Superfície rampeada constituída por sedimentos predominantemente areno-argilosos com grânulos e seixos de litologia quartzítica, depositados por fluxos de regime torrencial (Figura 45).



Figura 45 – Vista de várias Rampas de Acumulação colúvio-eluvial, localidade de Morro da Palha.

Fonte: do autor.

### **Atfl – Terraço Flúvio-Laguna**

Área plana resultante dos processos de deposição ligados ao re-trabalhamento pela rede de drenagem dos sedimentos que colmataram paleo-lagunas.

### **4.2.3 Pedologia**

Os solos estão representados principalmente pelas classes dos argissolos, cambissolos, neossolos quartzarênicos, além de campo de dunas e ambientes deposicionais de mangue e segundo Shimizu et al (2003), nos trabalhos do Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro PNGC em território catarinense estão descritas a seguir.

#### **Descrição das Classes de Solos**

Estas descrições abrangem as principais características das classes de solos com ocorrência significativa na Ilha de São Francisco do Sul. São citadas sempre que possível, a suscetibilidade à erosão, profundidade, além de outros fatores limitantes e/ou favoráveis à sua utilização agrícola.

#### ***ARGISSOLO VERMELHO-AMARELO Distrófico (PVLA)***

Esta classe de solos é constituída por solos minerais, não hidromórficos, com horizonte B textural e boa diferenciação entre horizontes. A profundidade e as cores dos solos desta classe são bastante variáveis. Apresenta sequência de horizontes do tipo A, Bt e C. A identificação de horizontes é relativamente fácil, pois possuem características morfológicas heterogêneas, tais como diferença de cor, textura e estrutura entre os horizontes dentro do mesmo perfil.

O horizonte A é do tipo proeminente ou moderado e nas classes de textura arenosa, apresenta estrutura fraca em forma de grãos simples, com aspecto de maciço poroso. Nas variedades de textura argilosa a estrutura torna-se mais desenvolvida chegando à moderada enquanto nas variedades onde os teores de silte são mais elevados, estes horizontes apresentam estrutura muito fracamente desenvolvida, ou mesmo sem estrutura, tendo o aspecto maciço e coeso.

No horizonte B a estrutura é geralmente em forma de blocos subangulares e angulares, moderadamente desenvolvida e com tamanho normalmente entre pequeno e médio. Os solos desta classe que têm argila de atividade alta e baixa, bem como os derivados de sedimentos finos do Paleozoico, em geral apresentam uma estrutura em forma de blocos angulares com diferentes graus de desenvolvimento. Neles a serosidade está sempre presente, em grau e quantidade geralmente moderados.

A relação molecular  $\text{SiO}_2/\text{Al}_2\text{O}_3$  (Ki) – via de regra, superior a 2, o grau de flocculação da argila e a relação silte/argila são muito variáveis. A soma de bases, capacidade de permuta de cátions e saturação de bases são geralmente baixas e a saturação de alumínio mais frequentemente elevada.

Dentro desta classe ocorrem solos com cascalho e/ou cascalhamento, em relevo desde suave ondulado ao montanhoso.

A erosão assume aspectos dramáticos quando estes solos são deixados desnudos. Portanto, a sua utilização racional com o emprego de práticas adequadas de conservação é de fundamental importância a fim de impedir que se tornem futuramente inaptos ao uso agrícola (Figura 46).



Figura 46 – Corte de encosta mostrando um Argissolo Vermelho Amarelo Distrófico.  
Fonte: do autor.

### ***CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico (CAbd)***

Trata-se de uma classe expressiva e abrangente na área em estudo. Compreende solos minerais, não hidromórfico, caracterizados pela ocorrência de um horizonte B incipiente (câmbico), definido pelo baixo gradiente textural. Pela média e alta relação silte/argila ou pela presença de minerais primários de fácil decomposição, a cerosidade quando presente é fraca e pouca.

Normalmente, possuem sequência de horizontes A, (B) e C, constatando-se variações quanto à profundidade de solum, cor, textura e estrutura. São derivados de materiais de rochas de composição e natureza muito variáveis cuja fertilidade e utilização agrícola estão altamente relacionadas com o material de origem.

Os cambissolos derivados predominantemente de sedimentos aluviais do Quaternário apresentam textura variável de acordo com a origem desses sedimentos. Possuem fertilidade natural também variável, poden-

do ser tanto eutróficos como álicos. Ocorrem em áreas de relevo geralmente plano e suave ondulado próximo aos rios e são intensamente utilizados com hortaliças, pastagem, milho e fumo.

Os cambissolos provenientes das rochas granitoides do Proterozoico Superior apresentam geralmente atividade da argila baixa e no horizonte Bt a textura é argilosa, com presença de cascalhos e grãos de areia ao longo do perfil, podendo ainda ocorrer matações no horizonte C (Figura 47). Esta classe de solos é constituída pelos solos com horizonte B podzol ou “spotic horizon” conforme classificação norte-americana, sobre o qual se assenta um horizonte A extremamente lavado (A2), de coloração esbranquiçada ou cinza claro.

O horizonte B é de acumulação de húmus e sesquióxidos de Fe e Al, e são normalmente subdivididos em Bh ou Bir, podendo ocorrer Bhir.

### ***ESPODOSSOLO FERRIHUMILÚVICO Órtico e HUMILÚVICO Hidromórfico (ESKo)***

São solos bastante arenosos, profundos, ácidos, com baixa soma e saturação de bases e elevados teores de Al trocável, que proporciona elevada saturação em Al e lhes confere o caráter álico. Possuem baixa fertilidade natural e apresentam rápida permeabilidade no horizonte A e muito lenta permeabilidade no horizonte B, o que provoca encharcamento dos solos por ocasião dos períodos chuvosos.



Figura 47 – Corte de encosta mostrando um Cambissolo Háplico.  
Fonte: do autor.

Os Espodossolos Humilúvicos hidromórficos se diferenciam dos Espodossolos Ferrihumilúvicos órticos por apresentarem uma drenagem má e imperfeita, com o lençol freático próximo à superfície. Este tipo de solo ocorre principalmente em áreas de relevo sendo desenvolvi-

dos a partir de sedimentos lacustres ou marinhos do Quaternário (Figura 48).

São solos hidromórficos, mal drenados, medianamente profundos e caracterizados pela presença de um horizonte glei dentro dos primeiros 60 cm de profundidade. Este horizonte é menos espesso e com mais baixos teores de carbono orgânico (<4%) que o do Gleissolo Húmico.

### ***GLEISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico (GXvd)***

Mostram sequência de horizontes do tipo A e Cg. Frequentemente é observado nesta classe de solos um gradiente textural bem pronunciado, porém não suficiente para a caracterização de mudança textural abrupta.

De um modo geral, apresentam argila de atividade alta ou baixa, textura argilosa, média ou siltosa nos horizontes sub-superficiais, fertilidade natural muito variável e horizonte A moderado ou chernozêmico.



Figura 48 – Área de ocorrência do Espodossolo Ferrihumilúvico Órtico, ao longo da BR-280, localidade de Miranda. Fonte: do autor.

Estes solos estão localizados em áreas planas, sujeitas a inundações e são desenvolvidos a partir de sedimentos do Quaternário. Têm utilização bastante limitada pela má drenagem porém, podem ser naturalmente aproveitados para a produção de arroz irrigado ou no cultivo de hortaliças quando drenados artificialmente.

### ***NEOSSOLO QUARTZARÊNICO Órtico e QUARTZARÊNICO Hidromórficos (RQo)***

Os Neossolos Quartazênicos órticos pertencem à classe de solos não hidromórficos, profundos e muito profundos, muito arenosos,

excessivamente drenados, derivados de sedimentos areno-quartzosos não consolidados de origem marinha. Em alguns locais apresenta a coloração amarelada devido à presença de óxidos de ferro.

Possuem sequência de horizontes A e C, sendo o horizonte A normalmente do tipo moderado e o horizonte C de coloração mais clara, geralmente cinzento-claro e bruno-amarelado-claro, predominando a classe textural areia que caracteriza solo solto e sem estrutura.

Apresentam muitos baixos teores de nutrientes assimiláveis pelas plantas, constituindo limitação forte ou muito forte ao uso agrícola. A baixa capacidade de retenção d'água e de nutrientes e a dificuldade de mecanização também podem limitar a utilização agrícola destes solos. A manutenção da matéria orgânica ou o seu enriquecimento são fundamentais para melhorar as suas condições.

Os Neossolos Quartazênicos hidromórficos diferenciam-se dos Neossolos Quartazênicos órticos por apresentarem o lençol freático muito próximo à superfície na maior parte do ano, o que lhes confere o caráter de hidromorfismo e apresentam a coloração esbranquiçada tipo “areia lavada” (Figura 49).



Figura 49 – O Neossolo Quartazênico Órtico se faz presente na faixa lesta da Ilha de São Francisco do Sul, ao longo da Praia Grande.

Fonte: do autor.

### ***NEOSSOLO LITÓLICO Distrófico (RI)***

Esta classe compreende solos poucos desenvolvidos, rasos, com o horizonte A assentado diretamente sobre a rocha matriz, ou sobre um pequeno horizonte C, geralmente com muito material da rocha em decomposição. Apresentam sequência de horizontes do tipo A, C e R, A, A/C e R ou A, R.

Constitui uma classe de solos relacionada às topografias acidentadas, ou às superfícies nas quais os processos pedogenéticos não foram suficientes para maior intemperização resultando na formação de

solos poucos desenvolvidos, insuficientes para permitir o desenvolvimento de um horizonte B.

Suas características morfológicas restringem-se basicamente ao horizonte A que é do tipo proeminente ou moderado, estando assentado sobre a rocha ou sobre o horizonte C. Possui espessura inferior a 50cm, são bem drenados, porosos e geralmente com fase pedregosa, podendo ocorrer matacões no horizonte C.

Sua fertilidade natural é muito baixa, com elevados valores de alumínio trocável e saturação com alumínio igual ou superior a 50%, aparecem em relevos montanhosos e escarpados.

Por apresentarem fertilidade natural muito baixa e a impossibilidade de mecanização, esses solos são poucos utilizados, sendo ocupados principalmente com pastagens e em menos expressão por culturas de subsistência (Figura 50).



Figura 50 – Corte de estrada mostrando a ocorrência de Neossolo Litólico Distrófico, localidade de Palmas.

Fonte: do autor.

### ***ORGANOSSOLO HÁPLICO Hêmico (Oxy)***

Esta classe compreende solos hidromórficos, de coloração preta ou cinzenta, muito escuros, essencialmente orgânicos, poucos evoluídos, resultantes de depósito de restos de vegetais em grau variável de decomposição, em ambiente mal e muito mal drenado.

A maioria destes solos possuem 40cm ou mais de espessura e teor de carbono orgânico superior a 18% quando a fração mineral contiver mais de 60% de argila, ou superior a 9% quando não contiver argila, ou valores intermediários de carbono orgânico para conteúdo intermediários de argila. São constituídos essencialmente de fibras de vegetais com densidade aparente inferior a 0,1 g/cm<sup>3</sup>.

Os solos predominantes desta classe apresentam horizonte superficial de coloração escura seguido de camadas orgânicas constituídas



de resíduos vegetais em grau variáveis de decomposição, São desenvolvidos sobre sedimento paludais ou lacustres do Holoceno, em áreas planas, sujeitas a inundações frequentes, com o lençol freático próximo ou à superfície durante parte ou todo o ano.

Caracterizam-se por possuir alta capacidade de troca de cátions e baixa densidade aparente em consequência dos altos teores de matéria orgânica.

Apresentam fertilidade natural bastante variável. As más condições de drenagem constituem o principal fator de limitação ao seu uso com culturas anuais entretanto, controlando-se artificialmente a drenagem e utilizando-se métodos eficientes de manejo, estes solos podem ser utilizados com hortaliças, reflorestamento e exploração de turfas.

### **Considerações sobre Tipos de Terrenos**

A seguir apresentam-se algumas considerações sobre tipos de terrenos que pelas suas peculiaridades não são considerados como solos.

#### ***Solos Indiscriminados de Mangues (SM)***

São terrenos predominantes halomórficos, alagados, que ocorrem nas partes baixas do litoral. Localizam-se nas proximidades da desembocadura dos rios, nas reentrâncias da costa e margens das lagoas diretamente influenciadas pelo movimento das marés.

Alguns apresentam horizontes gleizados, com elevados teores de sais provenientes da água do mar ou de compostos de enxofre. Possuem profundidade variável.

De modo geral, não apresentam diferenciação de horizontes, com exceção das áreas marginais onde se verifica o desenvolvimento de um horizonte A sobre camadas indiferenciadas.

São inviáveis para utilização agrícola, principalmente devido ao constante alagamento em que se encontram, além da presença de sais em quantidades suficientes para levar seu pH a valores extremamente baixos. Este tipo de terreno é considerado “Área de Preservação Permanente” com utilização restrita por Lei Federal.

#### ***Afloramentos de Rochas (AR)***

Compreende as áreas de exposição de rochas do embasamento, quer sejam como afloramentos rochosos na forma de lajeados, ou cama-

das muito delgadas de solos sobre rochas, ou ainda a ocorrência significativa de matações, em geral com mais de 100 cm de diâmetro.

Sua maior ocorrência acontece como componente secundário ou inclusão principalmente dos solos litólicos.

### ***Dunas (Dn)***

As dunas atualmente são classificadas como tipo de terreno e não mais como solo devido principalmente à ausência de processos pedogenéticos na sua formação. São originadas basicamente de deposições eólicas de material areno-quartzosos, que mantém certa movimentação, dependendo do recobrimento vegetal e dos ventos que as atingem.

Sua utilização agrícola é totalmente impraticável, devendo-se mantê-las sempre que possível, recobertas com vegetação para que se tornem fixas, preservando-as para conservação do meio ambiente e também usá-las como áreas de lazer. Este tipo de terreno é considerado “Área de Preservação Permanente” com utilização restrita por Lei Federal.

#### ***4.2.4 Sistemas Naturais***

O procedimento adotado com relação ao estabelecimento dos Sistemas Naturais é o mesmo que foi adotado e descrito por Magnago et al. (1998) o qual está transcrito a seguir.

A delimitação e a caracterização integrada dos Sistemas Naturais correspondem aos níveis de percepção obtidos através de estudos básicos dos recursos naturais desenvolvidos ao longo da execução do Programa Nacional de Gerenciamento Costeiro PNGC em território catarinense.

A caracterização integrada que serviu de escopo para a delimitação dos Sistemas Naturais no litoral de Santa Catarina é pois o resultado do cruzamento das informações básicas em vários níveis e estágios de sínteses multi e interdisciplinares.

O estabelecimento de relações de causa e efeito entre os atributos rocha, tipos de modelados e solos serviu de base para o estabelecimento da compartimentação do litoral, ou, da estrutura dos Sistemas Naturais.

A metodologia adotada no estabelecimento da compartimentação em Sistemas Naturais tem princípios fundamentados na Teoria Ge-

ral dos Sistemas e na divisão da paisagem segundo modelo semelhante ao proposto por Bertrand (1978). Dentro dessa concepção metodológica, constituem os domínios morfoestruturais o taxon de maior abrangência espacial, seguido pelos geossistemas e pela identificação de suas respectivas geofácies.

A estrutura da legenda do Mapa de Sistemas Naturais foi organizada para que as informações mapeadas na escala 1:100.000 pudessem ser dinamizadas dentro da classificação taxonômica expressa em ordem de grandeza. O primeiro comando é dado pelos títulos dos domínios e assim sucessivamente até as geofácies. Na citação dos domínios existe uma ordenação que reflete uma implicação geocronológica, na qual os fatos devem ser descritos na legenda, dos mais recentes para os mais antigos.

Os geossistemas que constituem o segundo taxon são identificados no mapa por um dígito alfa. As geofácies que constituem as unidades analíticas elementares são reconhecidas por um dígito numérico acoplado à letra indicadora de geossistema ao qual pertencem. A análise de dinâmica dos Sistemas Naturais é feita tomando por base a divisão da paisagem em geofácies.

O resultado final de compartimentação estabelecida para a Ilha de São Francisco do Sul está expresso na Figura 51. Mantiveram-se aqui as mesmas letras de designação dos geossistemas e dos geofácies que constam do trabalho de Magnago et al. (1998), de onde foram transcritos estes dados, com as devidas adaptações para a área em questão.

**SISTEMAS NATURAIS DA ILHA DE SÃO FRANCISCO DO SUL**

DOMÍNIO MORFOESTRUTURAL	GEOSSISTEMA	GEOFACIES
<b>I – Sedimentos Quaternários</b>	A - Planícies Eólicas	A1
	B - Planícies Flúvio Lagunares	B1 →
	D - Planícies Marinhas	D1 →
	E - Planos e Rampas Colúvio - Aluvionares	E1 →
<b>III – Rochas Granóides</b>	N - Pré-Serra do Mar	N1 →

Figura 51 – Os Sistemas Naturais da Ilha de São Francisco do Sul.  
Fonte: Fernandes, 1999.

## **Domínio Morfoestrutural dos Sedimentos Quaternários I**

Desenvolvendo-se de forma descontínua e ocorrendo generalizadamente por toda a fachada atlântica, esse Domínio é constituído fundamentalmente por planícies alongadas na direção N-S e por superfícies em forma de rampas que se interiorizam pelos principais vales da zona costeira.

Compreendem essencialmente litologias do Quaternário, recebendo contribuição de áreas-fonte mistas, registradas pela presença de depósitos marinhos, aluvionares, lagunares, eólicos e detrítico-colúviais. Os sedimentos assim classificados ocorrem isoladamente, justapõem-se ou ainda se interligam num intrincado e complexo mosaico de ambientes. Os sedimentos marinhos atuais são compostos por cordões de areias quartzosas, quase sempre bem selecionadas, distribuídas ao longo das praias, apresentando esporadicamente ilmenitas e magnetitas decorrentes das decomposições de diques de rochas básicas. Os depósitos marinhos subatuais constituem na maioria das vezes extensos e elevados terraços, podendo atingir altitudes superiores aos 20 metros. Os sedimentos aluvionares constituem os terraços e planícies elaboradas em argilas, areias e siltes inconsolidados oriundos da deposição fluvial em planícies de inundação e calhas fluviais. Os sedimentos colúvio-aluvionares, de idade provavelmente pleistocênica, aparecem comumente na forma de rampas constituindo os depósitos dos sopés de vertente e aluviões subatuais.

Já os sedimentos de dunas são representados por areias quartzosas finas e médias bem arredondadas e selecionadas, enquanto os de mangues são ricos em matéria orgânica, o que tão bem caracteriza a influência das marés nestes ambientes.

O Domínio dos Sedimentos Quaternários caracteriza-se ainda pela ausência de tectonismo, apresentando, contudo, alta susceptibilidade erosiva devido à sua composição areno-siltico-argilosa inconsolidada.

A diversidade de ambientes deposicionais, de granulometria e de tipos de modelados, ensejou a subdivisão deste domínio em cinco geossistemas: Planícies Eólicas, Planícies Lagunares, Planícies Aluviais, Planícies Marinhas e Planos e Rampas Colúviais.

### ***Geossistema Planícies Eólicas – A***

Compreende todo o conjunto de formas de relevo associado aos regimes dos ventos litorâneos e que corresponde a um cordão dunar

estreito e alongado na direção N-S, localizado na porção leste da Ilha de São Francisco do Sul. Os modelados que compõem este geossistema são alimentados pela remobilização dos cordões praias através da ação dos ventos provenientes de duas direções principais, os de nordeste, mais frequentes, e os do sul que apesar de ocorrerem num menor número de dias, tem uma atuação significativa em função de sua elevada capacidade de transporte.

Os modelados eólicos ou dunas são ambientes muito complexos e problemáticos sob o ponto de vista do equilíbrio morfodinâmico, o qual frequentemente tem sido rompido por intervenções antrópicas, com riscos eminentes de soterramento de áreas adjacentes. É comum o avanço das dunas sobre os sítios urbanos, invadindo áreas de circulação e soterrando edificações.

Por se tratarem de ambientes com vulnerabilidade crítica à erosão, devem ser adotadas restrições de uso, visto que sua utilização acarreta graves problemas ambientais com repercussões socioeconômicas negativas.

### ***Geossistema Planícies Fluvio-Lagunares – B***

Este geossistema é o resultado do assoreamento de paleo lagunas por sedimentos predominantemente areno-argilosos de natureza aluvial e/ou coluvial.

Caracteriza-se por um modelado tipicamente planar, constituído fundamentalmente por planícies, terraços lagunares e auréolas de colmatagem.

A terminologia de laguna adotada para designar os corpos líquidos confinados existentes ao longo do litoral catarinense deve-se aos processos originários pelo crescimento dos feixes de restinga.

O processo de colmatagem, naturalmente muito ativo neste geossistema, é acelerado pela drenagem dos terrenos com vistas à utilização agrícola. A Planície Lagunar por suas condições edáficas e topográficas vem sendo utilizada intensivamente para fins agrícolas, como pastagem e reflorestamento.

A vulnerabilidade deste geossistema à erosão é moderada, ocorrendo também setores com vulnerabilidade alta, associada geralmente aos solos hidromórficos.

### *Geossistema Planícies Marinhas – C*

Compreende todo o conjunto de ambientes associados aos sedimentos transportados e depositados sob o regime praiial pela ação das ondas, correntes e marés, onde se incluem além das praias, os terraços marinhos e os manguezais, bem como penínsulas, baías e enseadas entre as quais se desenvolvem baixadas litorâneas descontínuas que se constituem em extensas praias..

A exceção dos manguezais todos os outros ambientes foram enquadrados na classe de vulnerabilidade alta. Os manguezais por suas peculiaridades foram avaliados como pertencendo à classe de vulnerabilidade muito alta.

Durante o Quaternário, e mais especificamente no Holoceno, este geossistema foi diretamente afetado pelas oscilações climáticas de longa duração. As variações glacioeustáticas modelaram extensos e elevados terraços de construção marinha, bem como várias gerações de cordões praiiais e planícies de restinga.

Os terraços e as planícies marinhas foram edificados pelos cordões praiiais cuja coalescência propicia o aparecimento das planícies de restinga. Os cordões se apresentam como uma sucessão de cristas e cavados dispostos paralelamente uns em relação aos outros e em relação à praia atual. As cristas apresentam, dependendo da sua altura, retrabalhamento eólico, enquanto que os cavados têm aspecto paludal, abrigando estreitos e efêmeros cursos d'água.

As planícies de restinga, além de edificarem praias, também ligam, pela construção de tômbolos, antigas ilhas ao continente.

A ação permanente das marés, embora tenha amplitude reduzida, altera constantemente os perfis praiiais, com repercussão sobre os débitos fluviais, sujeitando o geossistema a uma morfodinâmica extremamente forte. Este fato, aliado à textura predominantemente arenosa das formações superficiais, onde se destacam os solos das classes Neossolo Quartzarênico e Espodossolo Cárbico hidromórfico, torna estes ambientes muito susceptíveis à erosão.

As marés constituem o regime de pequenos cursos d'água alimentados quase que exclusivamente pelas flutuações diárias do nível médio do mar conhecidos com o nome de marigots ou gamboas.

Disseminados por todo o Geossistema Planícies Marinhas, são encontrados núcleos de elevações por vezes superiores a 100m e que pertencem ao Geossistema Pré-Serra do Mar, gerando contrastes altimétricos acentuados em relação à topografia rebaixada que ocorre no resto da área.

Um último tipo de ambiente de excepcional valor paisagístico e ecológico que ocorre neste geossistema são os mangues ou planícies de maré. Localizados junto à foz de alguns rios, sua principal característica é a presença de um solo do tipo lodoso, rico em matéria orgânica e que propicia o desenvolvimento de uma vegetação típica e única, cuja composição florística e estrutural varia em função de distribuição geográfica.

A ocorrência junto à foz dos rios e na orla de baías e enseadas revela as condições nas quais os mangues melhor se desenvolvem: pouca declividade do fundo oceânico, o que facilita o ingresso da água salgada, associada a baixos níveis de energia cinética.

### ***Geossistema Planos e Rampas Colúvio-Aluvionares – D***

Caracterizado como um ambiente de transição entre o marinho e o continental, as principais características deste geossistema são os modelados planos (localmente abaciados), rampas de declividades diversas e, mais restritamente, formas tabulares e baixos platôs.

Os modelados foram esculpidos sobre sedimentos depositados por fluxos torrenciais nas porções distais de rampas pedimentares, leques de espriamento e cones de dejeção. Localmente estes depósitos podem se apresentar ravinados pela ação das águas de escoamento superficial difuso e/ou concentrado.

A granulometria e a cor das formações superficiais que correspondem geralmente a cambissolos, diferenciam-se sobremaneira dos demais geossistemas do Domínio dos Sedimentos Quaternários. Nos Planos e Rampas Colúviais, observou-se que a fração granulométrica predominante é argilosa, em função da desintegração química dos feldspatos presentes em grande quantidade nas áreas fontes dos sedimentos. Quanto à cor, constata-se que eles apresentam geralmente coloração vermelha e/ou amarelo-avermelhada diante do elevado teor de óxido férrico ( $\text{Fe}_2\text{O}_3$ ).

O Geossistema Planos e Rampas Colúviais foi avaliado na classe de vulnerabilidade moderada.

No entanto, devido ao grau de coesão e alteração dos materiais que o compõem, a prática da agricultura bem como outro tipo de usos no ambiente que compõem esse Geossistema, requer técnicas de manejo e conservação adequadas às suas características.

Os processos morfogenéticos ligados ao escoamento superficial sendo muito ativos podem desencadear fenômenos erosivos irreversíveis num curto espaço de tempo.

### **Domínio Morfoestrutural das Rochas Graníticas – III**

As litologias componentes deste geossistema e que correspondem basicamente a granitóides sofreram a ação de falhamentos, dobramentos e metamorfismos, sendo a direção estrutural predominante NE-SW e secundariamente NW-SE.

A grande variação de litotipos associada à complexidade estrutural se traduz no quadro natural pela heterogeneidade dos tipos de modelados e pelo condicionamento imposto à rede de drenagem.

As rochas graníticas, em função de sua composição mineralógica, apresentam grande resistência ao intemperismo. Este fato, associado à tectônica rígida que afeta indistintamente todo o domínio, faz com que nele sejam encontradas as partes mais elevadas da Ilha de São Francisco do Sul.

O Domínio Morfoestrutural das Rochas Graníticas é representado na Ilha pelo Geossistema Pré-Serra do Mar.

Situado no extremo nordeste do litoral catarinense e separado por lineamentos tectônicos dos terrenos de alto grau metamórfico que constituem o Cráton de Luís Alves, este geossistema guarda muitas semelhanças com o da Serra do Mar, do qual se distingue por sua condição altimétrica mais rebaixada além de constituir um setor isolado, localizado bem a leste da Serra propriamente dita.

Como no restante do litoral em áreas que correspondem ao Domínio das Rochas Graníticas, os ambientes que formam este geossistema são caracterizados por um relevo acidentado onde ocorrem desde colinas até montanhas com amplitudes altimétricas por vezes superiores a 200 metros e que resultaram numa avaliação da vulnerabilidade variando entre moderada e alta.

Normalmente, são áreas com uso agrícola restrito a pastagens e que conservam remanescentes da vegetação primária.

O Geossistema Pré-Serra do Mar que se prolonga para o sul pela Ilha de São Francisco corresponde neste trecho aos relevos em forma de colinas e morros que ocorrem junto ao centro da cidade homônima e que se destacam em meio à topografia das planícies quaternárias que formam a Ilha, emergindo como um relevo residual e acentuando a amplitude altimétrica.

No contato entre dois geossistemas ocorrem depósitos coluviais de significativa expressão espacial dando origem a solos do tipo cambissolo e que tem sido interpretado como pertencentes a uma fase extensiva de pedimentação.



## 5 RESULTADOS E ANÁLISES

Como resultado do tratamento e manipulação dos dados gráficos e alfanuméricos no ambiente de sistema de informações geográficas do ArcGis® foram obtidos os seguintes mapas:

1. Mapa Geológico, confeccionado com dados do Projeto Gerenciamento Costeiro, IBGE (Figura 52).
2. Mapa Geomorfológico, confeccionado com dados do Projeto Gerenciamento Costeiro, IBGE (Figura 53).
3. Mapa Pedológico, confeccionado com dados do Projeto Gerenciamento Costeiro, IBGE (Figura 54).
4. Mapa Morfoestrutural, resultado do cruzamento das informações dos mapas Geológico e Geomorfológico (Figura 55).
5. Mapa Morfo-pedológico, resultado do cruzamento das informações dos mapas Pedológico e Morfoestrutural (Figura 56).
6. Interface computacional do Método ALDA.

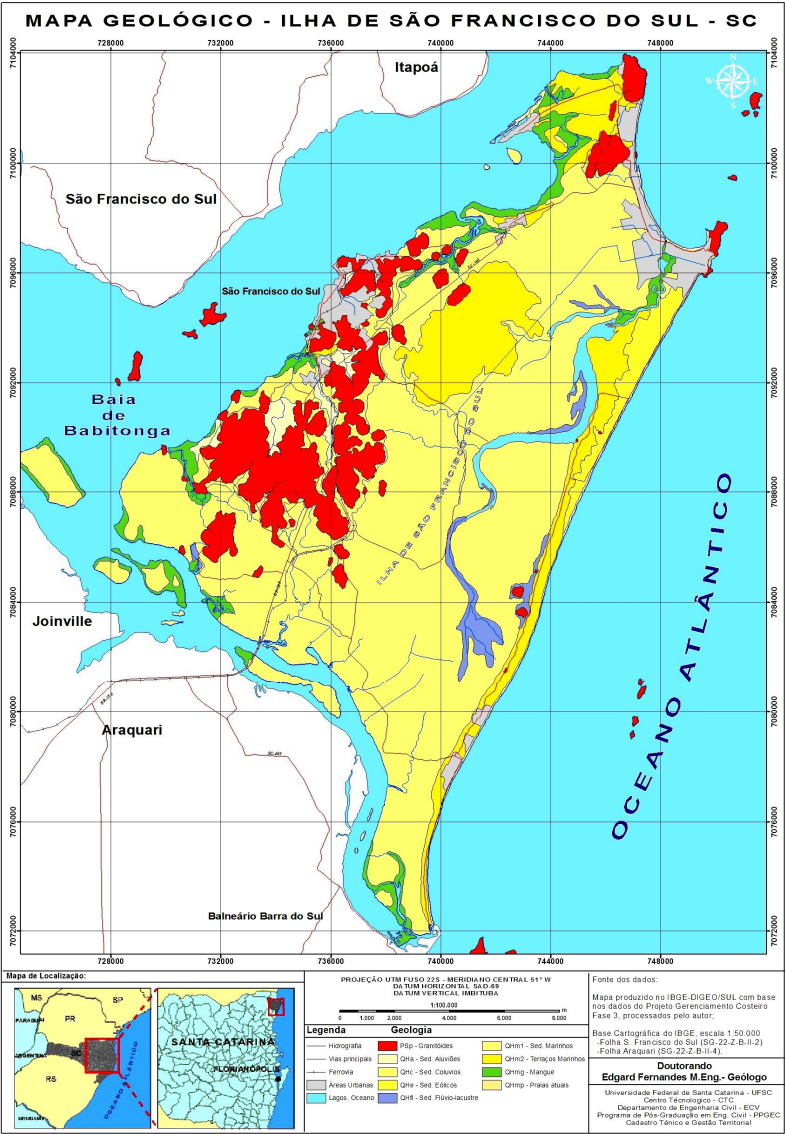


Figura 52 – Mapa Geológico da Ilha de São Francisco do Sul – SC  
Fonte: do autor

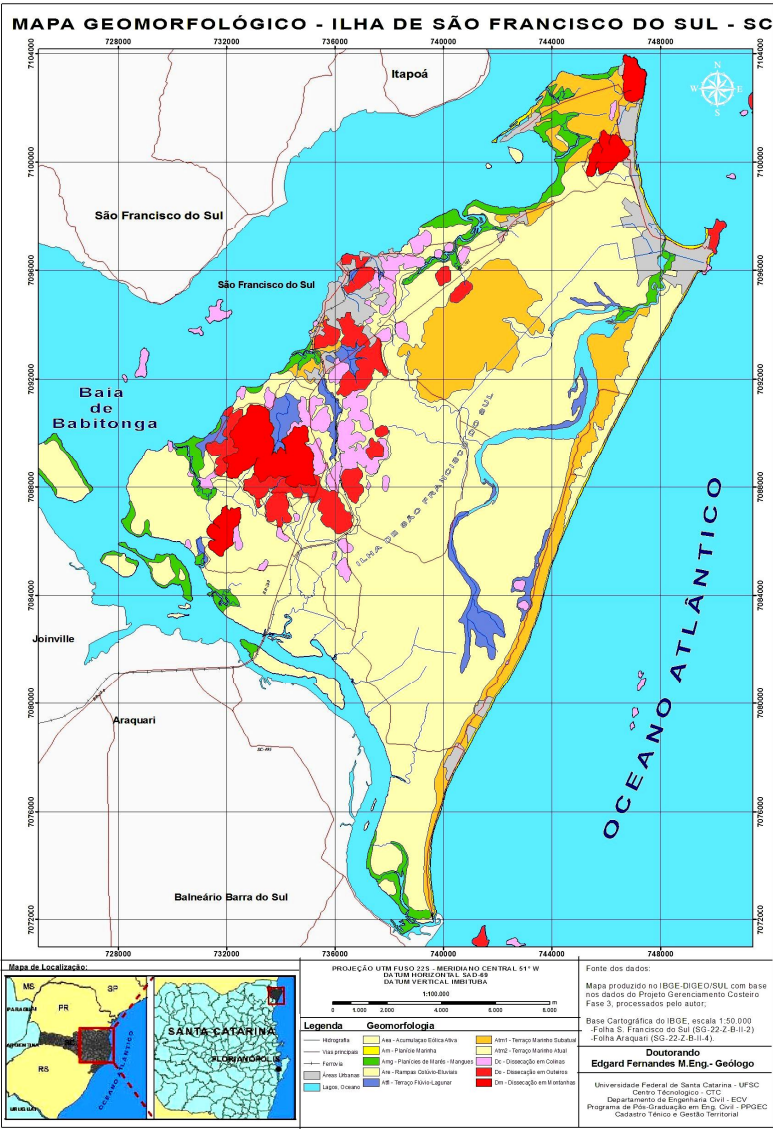


Figura 53 – Mapa Geomorfológico da Ilha de São Francisco do Sul – SC.  
Fonte: do autor

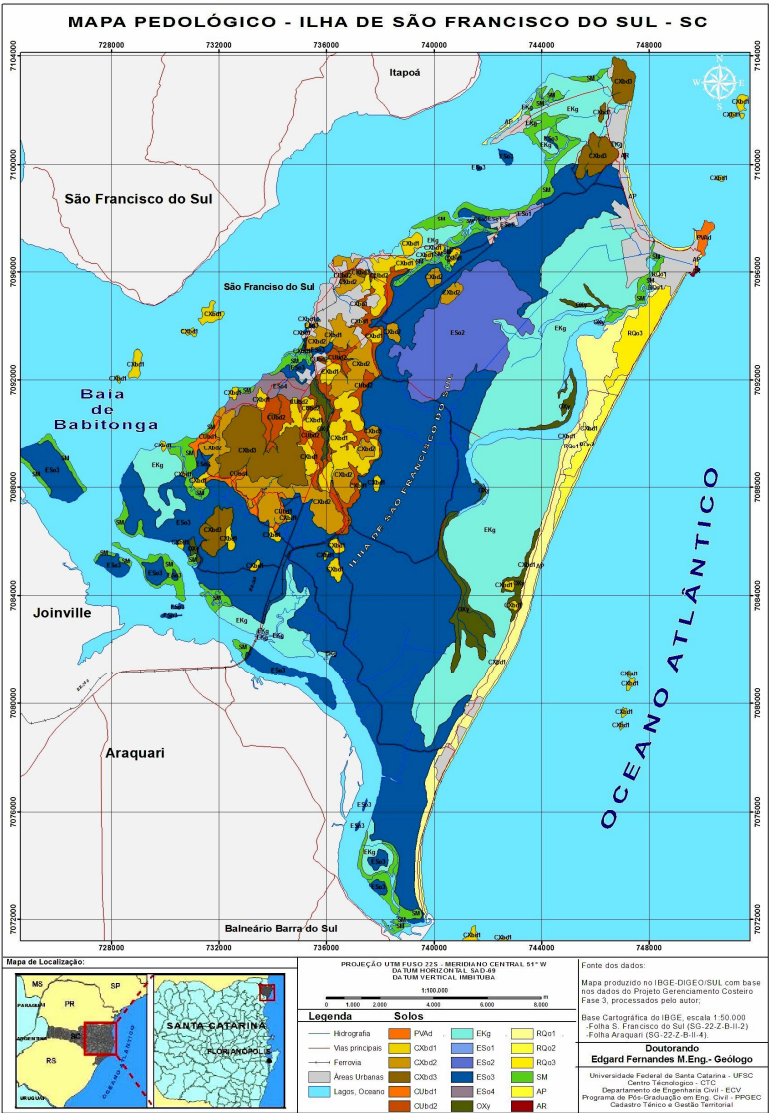


Figura 54 – Mapa Pedológico da Ilha de São Francisco do Sul – SC.  
Fonte: do autor

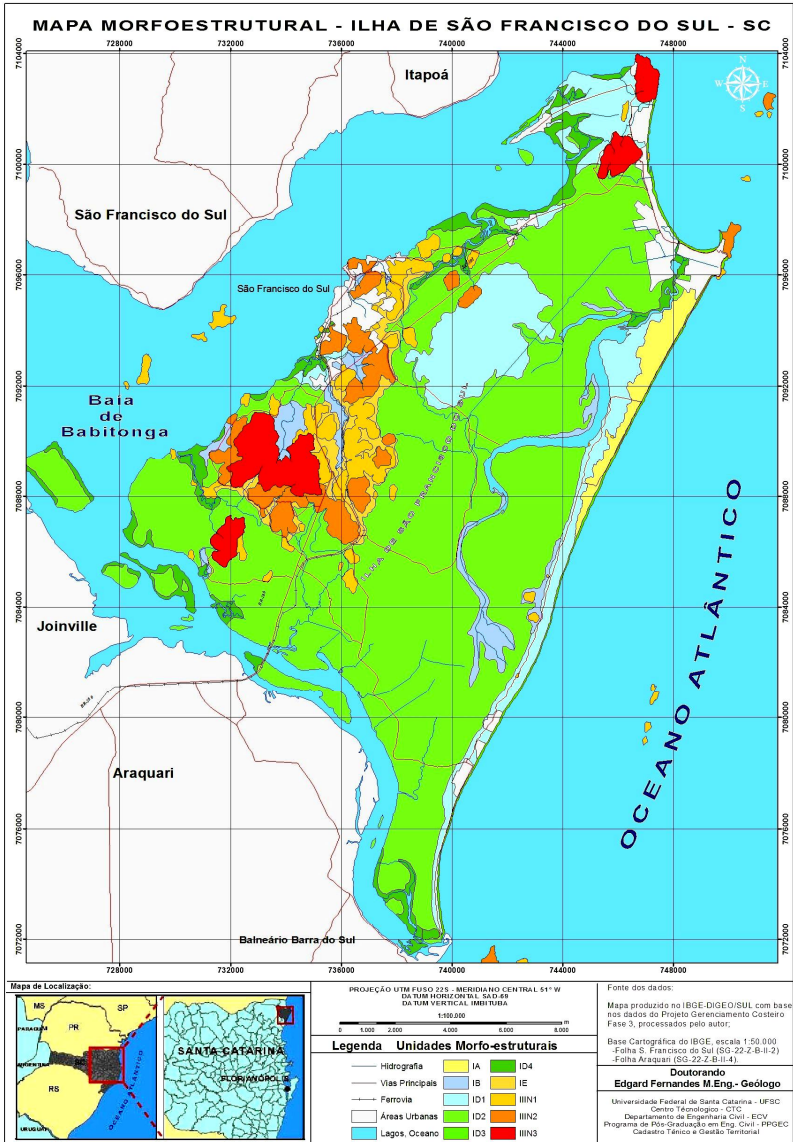


Figura 55 – Mapa Morfoestrutural da Ilha de São Francisco do Sul – SC.  
Fonte: do autor

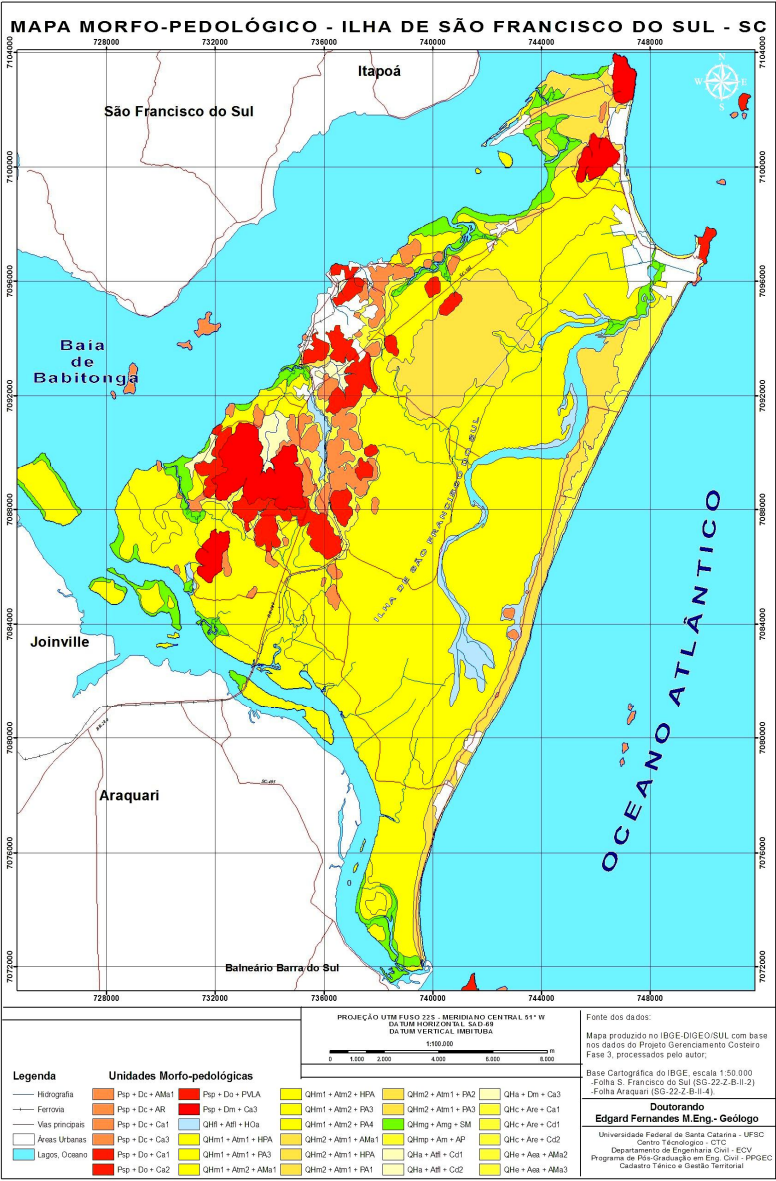


Figura 56 – Mapa Morfo-pedológico da Ilha de São Francisco do Sul – SC.  
Fonte: do autor

Com a aplicação do formulário de entrada de dados das variáveis aos polígonos do Mapa Morfo-pedológico, os resultados obtidos foram armazenados no banco de dados georreferenciado no ambiente do MSAccess®, pela interface do fuzzyTECH®, sendo posteriormente utilizados no ambiente do ArcGis, para o cruzamento com o polígono dos limites do Parque Estadual do Acarai, resultando no Mapa Interativo de Sugestão de Uso do Espaço da Ilha de São Francisco do Sul (Figura 57).

Apresentam-se a seguir um exemplo da aplicação da interface do Método ALDA em alguns dos polígonos do Mapa de Sugestão de Uso do Espaço e os resultados obtidos.



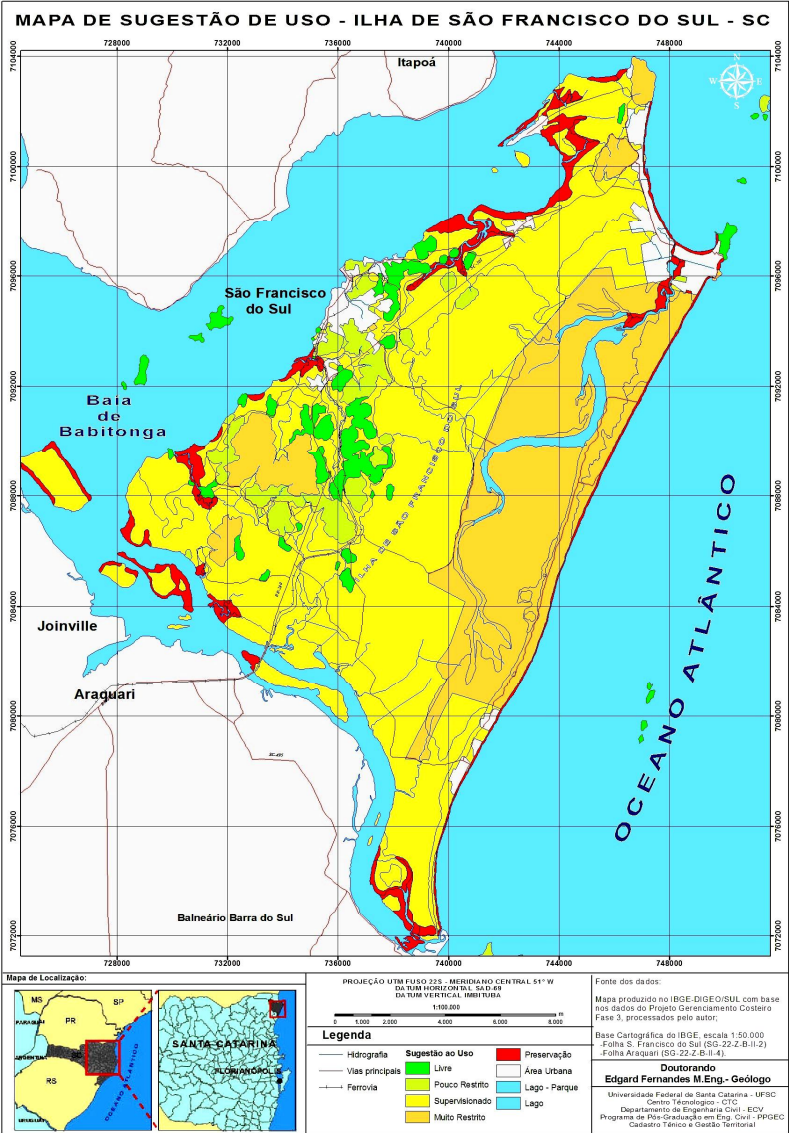


Figura 57 – Mapa Interativo de Sugestão de Uso do Espaço da Ilha de São Francisco do Sul – SC.

Fonte: do autor



**Polígono 1** – Segundo as informações contidas no geodatabase e apresentadas no topo do formulário, este polígono é constituído por rochas do Complexo Paranaguá, alteradas em Cambissolo Háplico, e apresenta relevo colinoso. A área desse polígono apresenta ausência de informações de escorregamentos e não há nenhuma lei que restrinja sua utilização (Figuras 58, 59, 60 e 61).

O resultado obtido da análise realizada pela árvore de decisão, para a variável “SugUso” foi “Livre”. O que significa que a área deste polígono não possui restrições à sua utilização.

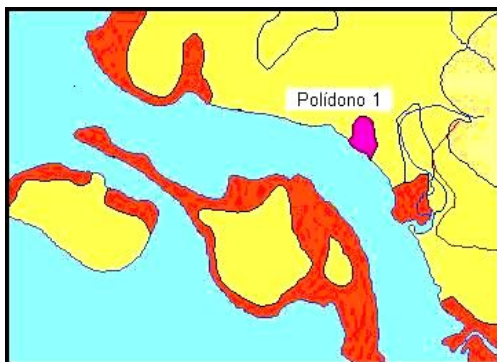


Figura 58 – Localização do polígono 1 no Mapa Interativo de Sugestão de Uso do Espaço da figura 51.

Fonte: do autor.



Figura 59 – Localização do polígono 1 em imagem do Google-Earth em maio de 2009.

Fonte: do autor.

ID

Geologia

Geomorfologia

Pedologia

Parque

1P5p

Dc

Cabdl

nao

Escolher ID

Executar

Salvar

CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico típico, textura argilosa , A moderado + ARGOSSOLO VERMELHO AMARELO, distrófico típico,Tb, textura média/argilosa, A moderado, relevo ondulado.

CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico

Classe de Relevô

Plano

Suave Ondulado

Ondulado

Forte Ondulado

Montanhoso

Escarpado

Tipo de Rocha

Sedimentos

Rocha Sedimentar

1,00 Rocha Met Bc

Rocha Met Ag

Rocha Ignea

Tipo de Solo B

Sem Estrutura

Estrutura Fraca

Estrutura Moderada

Estrutura Forte

0,3333

0,3333

0,2916

Condicionantes Físicas >

Condicionantes Legais >

Sugestões de Uso >

0,3333

0,0860

Livre

Alagamentos

Ausentes

Ocasionais

Constante

Esco regimento

1,00 Ausentes

Ocasionais

Constante

Leis

Livre

Restritivas

Proibitivas

Plano Diretor

1,00 Livre

Restritivas

Proibitivas

Figura 60 – Formulário de entrada de dados para o polígono 1, no ambiente MSAccess.  
Fonte: do autor.

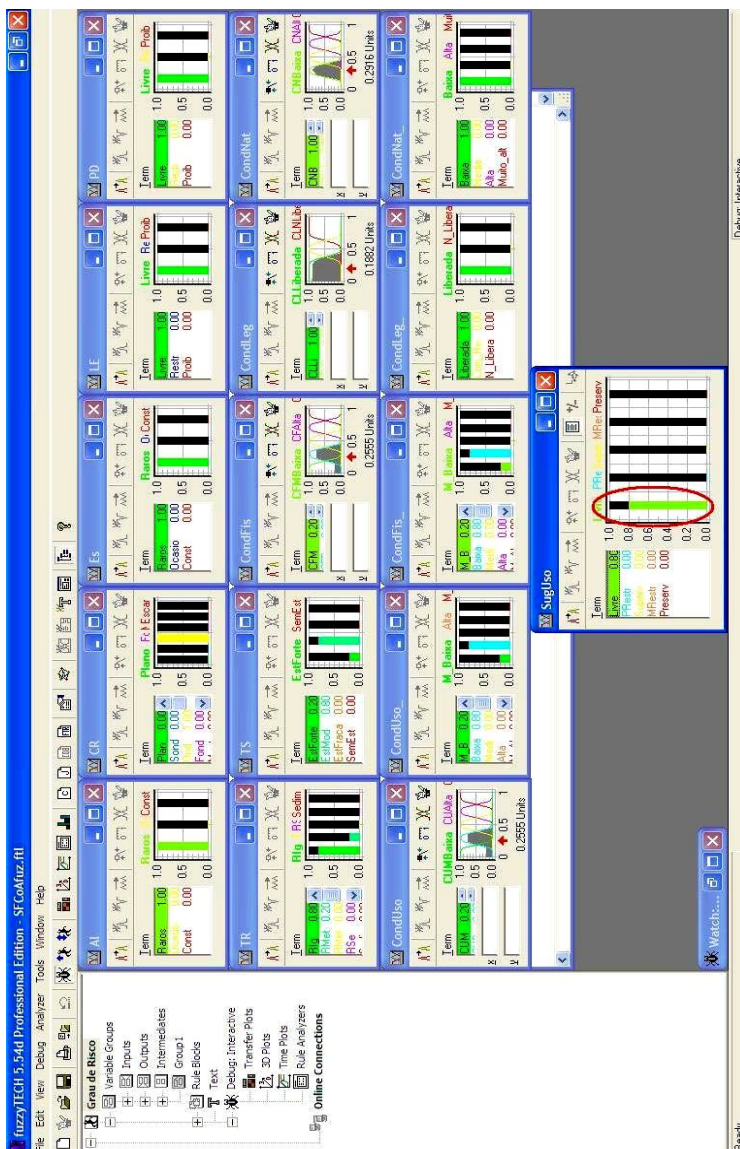


Figura 61 – Conjunto de gráficos representativos das variáveis de entrada e saída de dados do polígono 1 no ambiente do fuzzyTECH®.

Fonte: do autor.

**Polígono 9** – Segundo as informações contidas no geodatabase e mostradas no topo do formulário, este polígono é constituído por rochas do Complexo Paranaguá, alteradas em Cambissolo Háplico, e apresenta relevo colinoso. A área desse polígono apresenta ausência de escorregamentos, mas como sua área está incluída no Parque Estadual do Acaraí, apresenta legislação que restringe sua utilização (Figuras 62, 63, 64 e 65).

O resultado obtido da análise realizada pela árvore de decisão para a variável “SugUso” foi de “Preservação”, condição essa determinada pela legislação restritiva devido a que a área deste polígono se encontra inserida no Parque Estadual do Rio Acaraí.



Figura 62 – Localização do polígono 9 no Mapa Interativo de Sugestão de Uso do Espaço da figura 51.

Fonte: do autor.



Figura 63 – Localização do polígono 9 em imagem do Google-Earth em maio de 2009.

Fonte: do autor.



ID

Geologia

Geomorfologia

Pedologia

Parque

9/pSp

lDc

Clob1

ism

Escolher ID

Executar

Salvar

CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico Típico, textura argilosa, A moderado + ARGISSOLO VERMELHO AMARELO, distrófico típico Tb, textura média argilosa, A moderado, relevo ondulado.

CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico

Classificação de Relevos

Classe de Relevos	Tipo de Rocha	Sem Estrutura	Tipo de Solo B
Plano	Sedimentos		
Suave Ondulado	Rocha Sedimentar	Estrutura Fraca	0,80
Ondulado	1,00 Rocha Met BG	Estrutura Moderada	0,20
Forte Ondulado	Rocha Met AG	0,20 Estrutura Forte	
Montanhoso	Rocha Ígnea	0,80	
Escarpado			

Resultados

Condicionantes Físicas >

0,3333

Condicionantes Legais >

0,6667

Sugestões de Uso >

Muito Restrito

Alagamentos

Escoreamento

Ausentes	1,00 Ausentes	1,00
Ocasionais	Ocasionais	
Constante	Constante	

Leis

Plano Diretor

Livre	Livre	
Restritivas	1,00 Restritivas	1,00
Proibitivas	Proibitivas	

Figura 64 – Formulário de entrada de dados para o polígono 9, no ambiente MSAccess.  
Fonte: do autor.

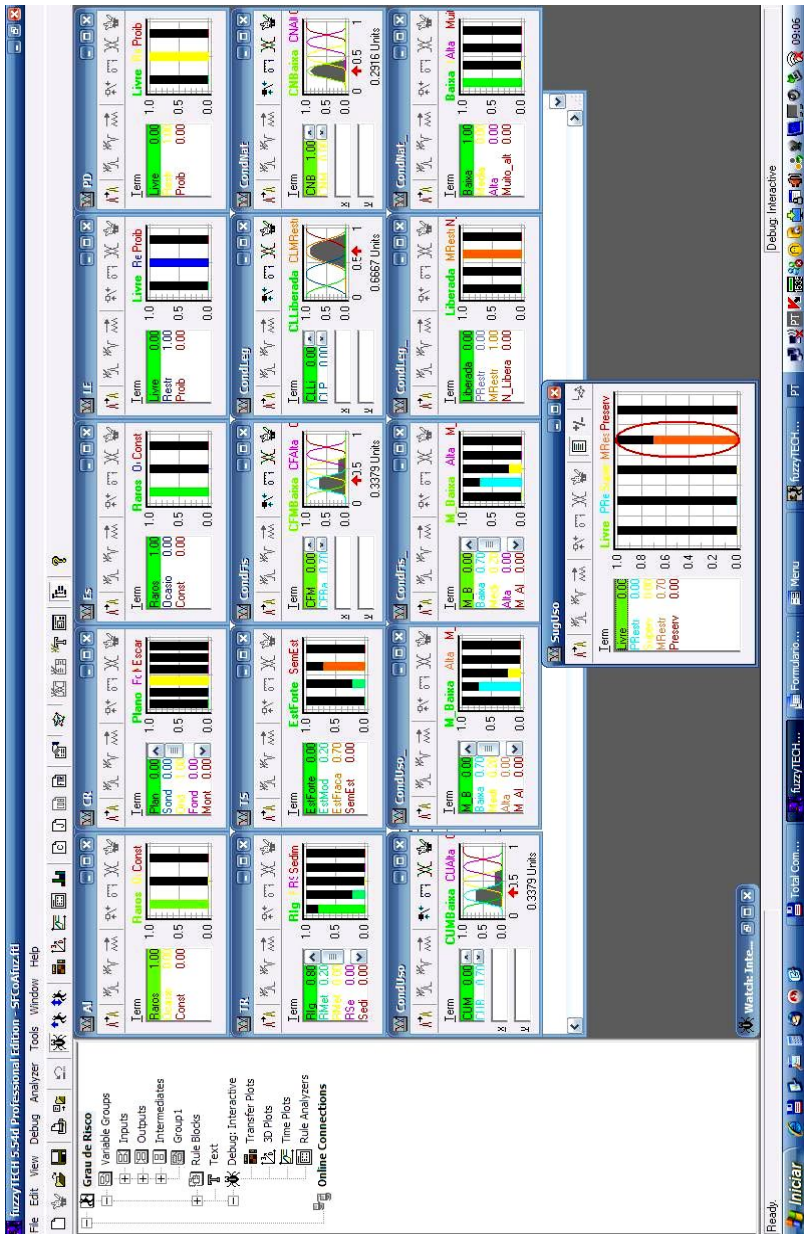


Figura 65 – Conjunto de gráficos representativos das variáveis de entrada e saída de dados do polígono 9 no ambiente do fuzzyTECH®.

Fonte: do autor.

**Polígono 33** – Segundo as informações contidas no geodatabase e mostradas no topo do formulário, este polígono é constituído por sedimentos do Quaternário, caracterizados no mapa de solos como Neossolo Quartzarênico Órtico, distribuído sobre um relevo que varia de suave-ondulado a plano, com possibilidade de alagamentos ocasionais nas partes planas. Legalmente não existe qualquer impedimento à sua utilização (Figuras 66, 67, 68 e 69).

O resultado obtido da análise realizada pela árvore de decisão para a variável “SugUso” foi de “Pouco Restrito”, carecendo de estudos para a utilização, pois o valor do resultado das condicionantes físicas é alto, devido a falta de estrutura do solo, que é formado por sedimentos e a existência ocasionais de alagamentos.



Figura 66 – Localização do polígono 33 no Mapa Interativo de Sugestão de Uso do Espaço da figura 51.

Fonte: do autor.



Figura 67 – Localização do polígono 33 em imagem do Google Earth em maio de 2009.

Fonte: do autor.



ID

Geologia

Geomorfologia

Pedologia

Parque

33Qhm1

Atm2

RQ01

Não

Executar

Salvar

Escolher ID

NEOSSOLO QUARTZANÉICO Órtico, A moderado, relevo suave ondulado e plano.

NEOSSOLO QUARTZANÉICO Órtico

Classe de Relevo	Tipo de Rocha	Tipo de Solo B
Plano	0,40 Sedimentos	Sem Estrutura
Suave Ondulado	0,60 Rocha Sedimentar	1,00 Estrutura Fraca
Ondulado	Rocha Met BG	Estrutura Moderada
Forte Ondulado	Rocha Met AG	Estrutura Forte
Montanhoso	Rocha Ignea	
Escarpaado		

Alagamentos	Escoreamento
Ausentes	0,90 Ausentes
Ocasionais	0,10 Ocasionais
Constante	Constante

Leis	Plano Diretor
Livre	1,00 Livre
Restritivas	Restritivas
Proibitivas	Proibitivas

Resultados

Condicionantes físcas >

0,5000

Condicionantes ao Uso >

0,5000

Condicionantes Naturais >

0,3125

Condicionantes Legais >

0,0860

Sugestões de Uso > Pouco Restrito

Figura 68 – Formulário de entrada de dados para o polígono 33, no ambiente MSAccess.  
Fonte: do autor.



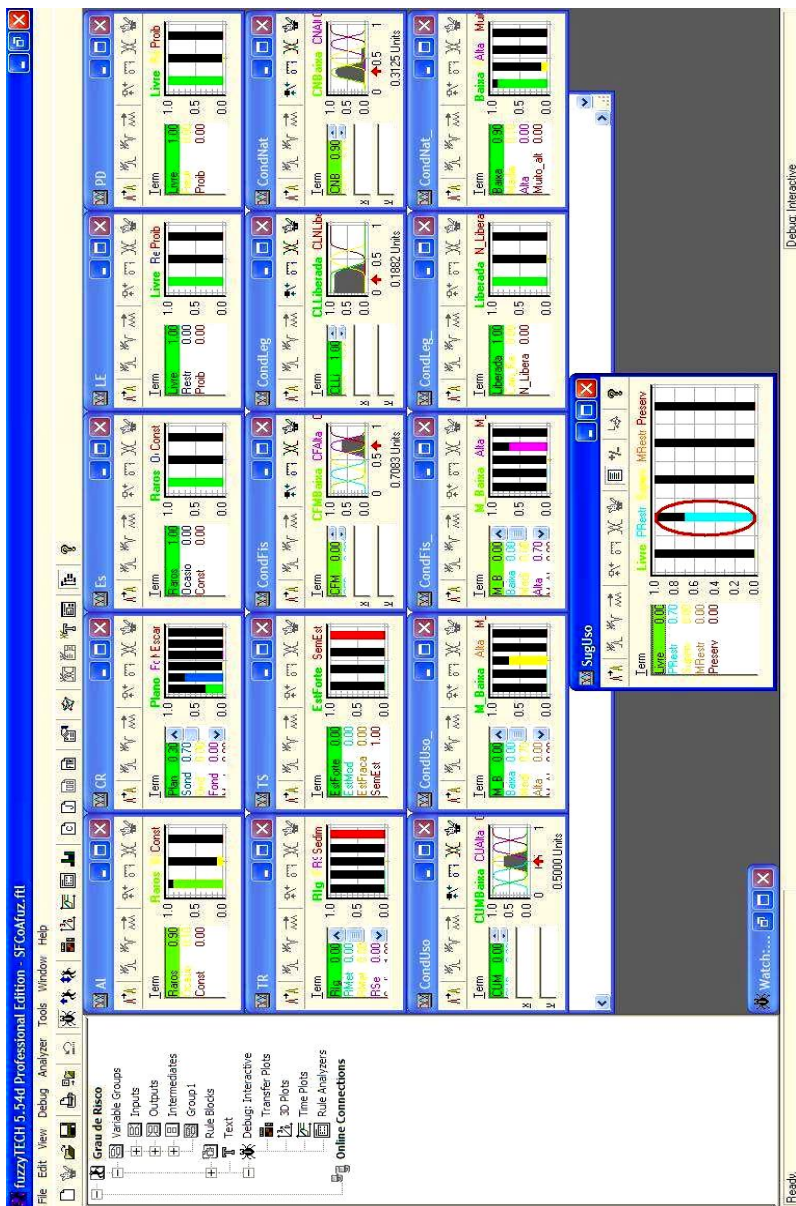


Figura 69 – Conjunto de gráficos das variáveis de entrada e saída de dados do polígono 33 no ambiente do fuzzyTECH®.

Fonte: do autor.

**Polígono 77** – Segundo as informações contidas no geodatabase e mostradas no topo do formulário, este polígono é constituído por rochas do Complexo Paranaguá, alteradas em Cambissolo háplico, e apresenta relevo montanhoso, com possibilidade de escorregamentos ocasionais. A legislação é restritiva para a utilização de áreas em relevo montanhoso (Figuras 70, 71, 72 e 737).

O resultado obtido da análise realizada pela árvore de decisão para a variável “SugUso” foi de “Supervisionado”, o que indica a necessidade de estudos e acompanhamento para sua utilização, pelos altos valores obtidos nas condicionantes ao uso e legais.

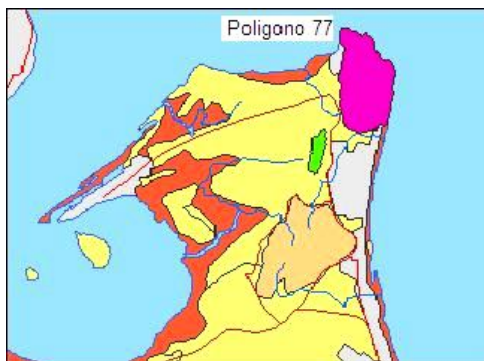


Figura 70 – Localização do polígono 77 no Mapa Interativo de Sugestão de Uso do Espaço da figura 51.

Fonte: do autor.



Figura 71 – Localização do polígono 77 em imagem do Google Earth em maio de 2009.

Fonte: do autor.

ID

Geologia

Geomorfologia

Pedologia

Parque

77Psp

dm

Cb03

não

Executar

Salvar

Escolher ID

CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico. Tipo, textura argilosa. A moderado + ARGISSOLO VERMELHO AMARELO, distrófico Tb, textura média/argilosa, A moderado, relevo montanhoso e forte

CAMBISSOLO HÁPLICO Tb Distrófico

Classe de Relevo	Tipo de Rocha	Tipo de Solo B
Plano	Sedimentos	Sem Estrutura
Suave Ondulado	Rocha Sedimentar	Estrutura Fraca
Ondulado	Rocha Met BG	Estrutura Moderada
Forte Ondulado	Rocha Met AG	0,20 Estrutura Forte
Montanhoso	1,00 Rocha Ignea	0,80
Escarpado		

Alagamentos	Escoreamento
Ausentes	1,00 Ausentes
Ocasionais	Ocasionais
Constante	Constante

Leis	Plano Diretor
Livre	1,00 Livre
Restritivas	Restritivas
Proibitivas	Proibitivas

Resultados

Condicionantes Físicas >

0,7083

Condicionantes ao Uso >

0,7083

Condicionantes Naturais >

0,3750

Condicionantes Legais >

0,0860

Sugestões de Uso >

Superintionado

Figura 72 – Formulário de entrada de dados para o polígono 77, no ambiente MSAccess.  
Fonte: do autor.



Fonte: do autor.

## 6 CONCLUSÕES E SUGESTÕES

### 6.1 Conclusões

O objetivo principal de desenvolver mapas interativos de sugestão de uso do espaço, com utilização de operações de árvores de decisão mediante a lógica difusa, em ambiente de sistema de informações geográficas, foi plenamente alcançado. Como produto desse desenvolvimento, criou-se uma interface computacional denominado de ALDA ( ArcGis – Lógica Difusa – Access).que gerencia , manipula e integra dados de três ambientes distintos, a saber, SIG, Geodatabase e lógica difusa.

O método ALDA é de aplicação interativa, permitindo ao analista entrar ou alterar os dados no formulário da interface no MSAccess, submetê-los à análise da lógica difusa e verificar a resposta antes de gravá-la no banco de dados georreferenciado, disponibilizando-o para utilização no SIG. Permite ainda que as alterações ou correções feitas posteriormente à elaboração do mapa sejam interativamente anexadas ao geodatabase e conseqüentemente ao próprio mapa.

Das análises obtidas, conclui-se que o método é sensível aos valores das variáveis fornecidos pelos especialistas, indicando o uso do espaço ao gestor público, e servindo de subsídio para estudos que visem a utilização mais responsável do espaço.

O mapa interativo de sugestão de uso do espaço gerado no SIG apresenta como legenda, a resposta da árvore de decisão, para a possibilidade de uso de cada polígono gerado no mapa morfo-pedológico.

O método é suficientemente robusto para ser utilizado em quaisquer escalas de trabalho, resguardando-se o fato de que, quanto maior a escala, maior deverá ser o detalhamento nos dados dos mapeamentos e trabalhos de campo. Deste modo tem-se como consequência a necessidade de um maior detalhamento das variáveis primárias (linguísticas).

A árvore de decisão pode ainda ter sua disposição alterada para conter outras variáveis que sejam necessárias para análises mais detalhadas, em escalas de trabalho maiores, havendo, para tanto, a necessidade de alteração do formulário de entrada de dados no ambiente MSAccess®, para conter os dados dessas novas variáveis.

Através da reestruturação da árvore de decisão, definindo as novas variáveis envolvidas, é possível utilizar o método desenvolvido para aplicações em outras áreas tais como:

- Zoneamento Econômico Ecológico (ZEE)
- Plano Diretor, Planejamento Urbano
- Classificações temáticas (Ex.: Classificação de Solos)
- Avaliação de áreas subnormais (Projeto Habitar Brasil)
- Mapeamento de áreas de risco geológico
- Mapeamento de áreas susceptíveis a escorregamentos
- Avaliação de imóveis, dentre outras.

## 6.2 Sugestões

Como estudos futuros, sugere-se:

- ♦ A utilização de variáveis tipo MBF (função de pertinência) como variáveis de entradas da árvore de decisão e sua comparação com os resultados obtidos neste trabalho.
- ♦ Uma análise estatística para os dados fornecidos pelos especialistas para cada termo das variáveis lingüísticas, buscando a elaboração de uma tabela que permita uma automação no processo de entrada de dados.
- ♦ A inclusão nos mapeamentos geológicos e de solos dados sobre granulometria e fraturamento das rochas e sobre a estrutura e textura dos solos, como índices anexados em suas letras-símbolo. Essa possibilidade permitirá uma melhor adequação aos dados de entrada fornecidos pelos especialistas ao formulário do método ALDA.
- ♦ A aplicação deste método em mapeamentos de áreas susceptíveis a escorregamentos, buscando obter informações sobre níveis de perigo, com base na sustentação do meio físico e intensidade de precipitação pluviométrica.

**BIBLIOGRAFIA**

ALMEIDA, M. C. J. de; FREITAS, C. G. L. de. Uso do solo urbano: suas relações com o meio físico e problemas decorrentes. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA TÉCNICA, 2., 1996, São Carlos. *Anais...* São Carlos: ABGE, 1996. p. 195-200.

ARONOFF, S. - Geographical Information Systems: A Management Perspective. Ottawa. WDI Publications, 1989.

BELTRAME, A. V. *Diagnóstico do meio físico de bacias hidrográficas: modelo e aplicação*. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1995. 112 p.

BERTRAND, G. Le paysage entre la nature e la société. *Revue Géographique des Pyrénées et du Sud Ouest*, Toulouse, v. 49, n. 2, p. 239-258, 1978.

BITAR, O. Y.; O Meio Físico em estudos de impacto ambiental. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas (IPT), 270 p. 1990.

BITAR, O. Y. Curso de Geologia aplicada ao meio ambiente. São Paulo: ABGE. IPT, 247 p. 1995.

BOCLIN, A. S. C. *Método de apoio à decisão na avaliação de impactos ambientais utilizando lógica Fuzzy*. 2003. 177 p. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

BOCLIN, A. S. C.; MELLO, R. de. A decision support method in environmental impact assessment using the Fuzzy logic approach. *Ecological Economics*, Elsevier, v. 58, n. 1, p. 170-181, 2006.

BURROUGH, P.A. - Principles of Geographical Information Systems for Land Resources Assensment. Oxford: Oxford University Press, 1986.

BUENO, M. C. D. *Utilização de redes de dependência e lógica nebulosa em estudos de avaliação ambiental*. 2003. Dissertação (Mestrado em Engenharia de Computação)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Computação, Universidade Estadual do Rio de Janeiro, Rio de Janeiro.

CALIJURI, M. L.; RIOS, L. Elaboração de mapeamento geotécnico utilizando-se Sistemas de Informações Geográficas. In: GIS BRASIL 94 CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO, 1994, Curitiba. *Anais...* Curitiba: SAGRES, 1994. p. 9-13. Painéis.

CAMARGO, M. N.; KLAMT, E.; KAUFFMAN, J. H. Classificação de solos usado em levantamentos pedológicos no Brasil. *Boletim Informativo da Sociedade Brasileira de Ciência do Solo*, Campinas, v. 12, n. 1, p. 11-33, 1987.

CAMPOS FILHO, P. *Método para apoio à decisão na verificação da sustentabilidade de uma unidade de conservação, usando lógica fuzzy*. 2004. 210 p. ils., grafs., tabs. Tese (Doutorado)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

CANDEIAS, A. L. B. et al. Base de dados para SIG ambiental. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 3., 1998, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: COBRAC, 1998.

CARVALHO, J. A. R. Perigos geológicos, cartografia geotécnica e proteção civil. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE CARTOGRAFIA GEOTÉCNICA, 3., 1998, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: UFSC, 1998. CD-ROM.

CARVALHO, V. C.; RIZZO, H. G. *A zona costeira brasileira: subsídios para uma avaliação ambiental*. Brasília, DF: MMA, 1994. 211 p.

CHANG, N. B.; PARVATHINATHAN, G.; BREEDEN, J. B. Combining GIS with a multicriteria decision-making for landfill siting in a fast-growing urban region. *Journal of Environmental Mangement*, 87. (2008), p.139-153. Elsevier, 2008.

COITINHO, J. B. L.; FERNANDES, E. *Contribuição à geologia das Folhas SG.22-X-D, SG.22-Z-B e SG.22-Z-D: relatório da operação de campo 919/80 – DIGEO/BASCA*. Florianópolis: Projeto RADAMBRA-SIL, 1981. 21 p. (Relatório Interno, RIR - 398G).



COITINHO, J. B. L.; FERNANDES, E.; PIRES, J. L. *Projeto Alcalinas, reconhecimento geológico*. Florianópolis: IBGE/DRN-SC, 1987. 12 p. (Relatório Interno IBGE).

COSTA, L. S. *Desenvolvimento de uma metodologia para auxílio à decisão em zoneamento de unidades de conservação. Aplicação ao parque florestal do rio vermelho*. 2003. 77 p. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

COSTA, R. C. R. da; BUSS, M. D.; ROSA, R. de O. Geomorfologia. In: FOLHA SG. 22 Curitiba, parte da folha SG. 21 Asunción e folha SG. 23 Iguaçu. Rio de Janeiro: IBGE, 2005. (Levantamento de Recursos Naturais, 35). 1 CD-ROM.

COWEN, D. J. GIS versus CAD versus DBMS: what are differences. *Photogrammetric Engineering and Remote Sensing*, v. 54, n. 11, p. 1551-1555, Nov. 1988.

CREPANI, E. et al. *Sensoriamento remoto e geoprocessamento aplicados ao zoneamento ecológico-econômico e ao ordenamento territorial*. São José dos Campos: Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais, 1996. (INPE-8454-RPQ/722).

CROSS, V.; FIRAT, A. Fuzzy objects for geographical information systems. *Fuzzy Sets and Systems*, Elsevier, v. 113, p. 19-36, July 2000.

DAVIS JR., C. A.; FONSECA, F. T. Geração de dados em CAD para uso em GIS: precauções. In: GIS BRASIL 94: CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO, 1994, Curitiba. *Anais...* Curitiba: Sagres, 1994. p. 43-47. SIG e Conversão de Dados.

ESCADA, M.I.S. Aplicação de técnica fuzzy em SIG como alternativa para o zoneamento ecológico-econômico (ZEE). Instituto Nacional de Pesquisas Espaciais – INPE. São José dos Campos, outubro 1998, 26 p.

EVSUKOFF, A. G.; ALMEIDA, P. E. M. Sistemas Nero Fuzzy. In: RESENDE, S. O. *Sistemas inteligentes: fundamentos e aplicações*. Baurerri, SP: Manole, 2003.

FERNANDES, E. *Uso de Sistema de Informações Geográficas (SIG), na integração de mapas temáticos no Município de São Francisco do Sul – SC*. 1999. 121 p. Dissertação (Mestrado em Engenharia Civil)-Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

FIGUEIREDO, L. F. G.; LOCH, C. Sistema de cadastro técnico ambiental - estudo de caso: Parque Estadual da Serra do Tabuleiro, Santa Catarina - Brasil. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITARIO, 2., 1996, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: COBRAC, 1996.

FORCINARI FILHO, N. Alterações no meio físico decorrentes de obras de engenharia. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 270 p. 1992.

GALINDO, J.; URRUTIA, A.; PIATTINI, M. *Fuzzy databases modeling, design and implementations*. Hezshey: Ideia Group Publish, 1970.

GONÇALVES, R. M. et al. Classificação hierárquica e fuzzy de imagens de alta resolução. In: SIMPÓSIO BRASILEIRO DE SENSORIAMENTO REMOTO, 13., 2007, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: INPE, 2007. p. 547-554.

GUPTA, R.P. et al. Approaches for comparative evaluation of raster GIS-based landslide susceptibility zonation maps. *International Journal of Applied Earth Observation and Geoinformation* 10 (2008), p. 330–341. Elsevier 2008.

HERRMANN, M. L. de P. *Aspectos ambientais da porção central da Ilha de Santa Catarina*. 1989. 229 p. Dissertação (Mestrado)-Curso de Mestrado em Geografia, Departamento de Geociências, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

ISSLER, R. S.; FERNANDES, E.; FREIRE, F. de A. Aspectos físicos: geologia. In: ATLAS de Santa Catarina. Florianópolis: GAPLAN: IBGE/DRN-SC, 1986. 173 p.: p. 29-31.

JANIKOW, C. Z. Fuzzy decision trees: issues and methods. *IEEE Transactions on Systems, Man, and Cybernetics*, v. 28, n. 1, p. 1-14, Feb. 1998.

KAUL, P. F. T.; FERNANDES, E.; SANTOS NETO, A. Geologia. In: *PROJETO Gerenciamento Costeiro: 3ª fase*. Florianópolis: IBGE, DI-GEO/SUL: Secretaria de Estado de Planejamento Orçamento e Gestão: Secretaria de Estado da Agricultura e Política Rural, 2002. 63 p.

KOTHARI, R.; DONG, M. Decision trees for classification: a review e some news results. Singapore: World Scientific, June 2000. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.23.6042>>. Acesso em: 20 jul. 2009.

KOTHARI, R.; DONG, M. Look-Ahead based Fuzzy decision tree induction. *IEEE Transactions of Fuzzy Systems*, v. 9, n. 3, p. 461-468, 2001. Disponível em: <<http://citeseerx.ist.psu.edu/viewdoc/summary?doi=10.1.1.12.1673>>. Acesso em: 20 jul. 2009.

KUSTRA, R. *Soft Decision Trees*. 1997. 79 p. Thesis (Master of Science)-University of Toronto Departament of Biostatistic and Preventive Medicine. Toronto, Ontario. January 1997.

MACEDO, R. K. A importância da avaliação ambiental. In: TAUKE, S. M.; GOBBI, N.; FOWLER, H. G. *Análise ambiental: uma visão multidisciplinar*. São Paulo: Ed. da UNESP: FAPESP: SRT: FUNDUNESP, 1991. p. 11-27.

MAGNAGO, A. A. et al. Diagnóstico ambiental do litoral de Santa Catarina: relatório final, Setor 3. In: *PROJETO Gerenciamento Costeiro*. Florianópolis: SDEISC, 1998. p. 11-27.

MANUAL técnico de pedologia. Rio de Janeiro: IBGE, 1995. 104 p. (Manuais técnicos em Geociências, n. 4).

MANUAL técnico de uso da terra. Rio de Janeiro: IBGE, 2006. 2. ed. 94 p. (Manuais técnicos em Geociências, n. 7).

MALUTTA, C. *Método de apoio à tomada de decisão sobre a adequação de aterros sanitários utilizando Lógica Fuzzy*. 2004. 221 p. Tese (Doutorado)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

MEDEIROS, S.; MELLO, R. de; CAMPOS FILHO, P. Análise de projetos para unidades de conservação, usando lógica fuzzy. *Produção*, v. 17, n. 2, p. 317-329, maio/ago. 2007.

MEIRELLES S.P.M. Análise integrada do meio ambiente através de geoprocessamento – Uma proposta metodológica para a elaboração de zoneamentos. UFRJ. Rio de Janeiro, 1997, 190 p.

MONTEIRO, C. A. de F. Análises ambientais: perspectivas geográficas à interdisciplinaridade e problemas teóricos-metodológicos. In: EM

CONTRO NACIONAL DE ESTUDOS SOBRE O MEIO AMBIENTE, 1., 1986, Recife. Recife: Fundação Joaquim Nabuco, 1986.

MUNASHINGHE, M.; McNEELY, J. Keys concepts and terminology of sustainable development. In: MUNASINGHE, M.; SHEARER, W. (Ed.). *Defining and measuring sustainability: the biogeophysical foundations*. Washington, D.C.: The United Nations University & The World Bank, 1995.

NOBRE, F. S. M. *Projeto e análise de controladores nebulosos e sua aplicação para controle de juntas robóticas*. 1997. Dissertação (Mestrado)-Faculdade de Engenharia Elétrica e de Computação, Universidade Estadual de Campinas, Campinas. Disponível em: <<http://libdigi.unicamp.br/universia/document/?code=vtls000115762>>. Acesso em: 20 jul. 2009.

OENNING, I.; MOSER, J. M.; SHIMIZU, S. H. Pedologia. In: FOLHA SG. 22 Curitiba, parte da folha SG. 21 Asunción e folha SG. 23 Iguape. Rio de Janeiro: IBGE, 2005. (Levantamento de Recursos Naturais, 35). 1 CD-ROM.

OLARU, C.; WEHENKEL, L. A complete Fuzzy tree decision technique. *Fuzzy Sets and Systems*, Elsevier, v. 138, p. 221-254, 2003.

OLIVEIRA JR, H. A. *Lógica Difusa: Aspectos Práticos e Aplicações*. Ed. Interciência, 1999. 192 p.

PETRY, F. E. et al. Design of system for managing fuzzy relationships for integration of spatial data in querying. *Fuzzy Sets and Systems*, Elsevier, v. 140, p. 51-73, 2003.

PIRES, J. L. et al. Geologia, síntese temática. In: IBGE. *Estudos ambientais da Grande Florianópolis*. Florianópolis: IPUF, 1997. 27 p.

PRABHU, R.; MENDOZA, G. A. Fuzzy methods for assessing criteria and indicators of sustainable forest management. *Ecological Indicators*, v. 3, n. 4, p. 227-236, Jan. 2004.

PUENTE, M. C. R. et al. The development of a new methodology based on GIS and Fuzzy Logic to locate sustainable industrial areas. In: 10<sup>th</sup> AGILE International Conference on Geographic Information Science 2007. 8 p. Aalborg University, Denmark. 2007.

ROCHA, J. S. M. *Manual de manejo integrado de bacias hidrográficas*. Santa Maria: Ed. UFMS, 1991.

ROSA, R. O. Geomorfologia. In: *PROJETO Gerenciamento Costeiro: 3ª fase*. Florianópolis : IBGE, DIGEO/SUL: Secretaria de Estado de Planejamento Orçamento e Gestão: Secretaria de Estado da Agricultura e Política Rural, 2003. 70 p.

\_\_\_\_\_. Geomorfologia: domínios morfoestruturais e unidades geomorfológicas. In: Atlas ambiental da região de Joinville: *complexo hídrico da Baía da Babitonga*. Fundação do Meio Ambiente de Santa Catarina; coordenação de Joachim L. W. Knie. – 2. ed. – Florianópolis: FATMA/GTZ, 2003.

SANTELLO, R. *Avaliação de imóveis urbanos com utilização da Lógica Difusa*. 2004. 135 p. Dissertação (Mestrado)-Programa de Pós-Graduação em Engenharia de Produção, Universidade Federal de Santa Catarina, Florianópolis.

SANTOS, G. T. *Integração de informações pedológicas, geológicas e geotécnicas aplicadas ao uso do solo urbano em obras de engenharia*. 1997. Tese (Doutorado em Engenharia)-Escola de Engenharia, Universidade Federal do Rio Grande do Sul, Porto Alegre.

SANTOS, G. T.; DAVIDSON DIAS, R. Cadastro geotécnico dos solos do Município de Florianópolis - SC. In: CONGRESSO BRASILEIRO DE CADASTRO TÉCNICO MULTIFINALITÁRIO, 2., 1996, Florianópolis. *Anais...* Florianópolis: COBRAC, 1996. p. 77-85.

SANTOS, M. do C. S. R. dos. Manual de fundamentos cartográficos e diretrizes gerais para elaboração de mapas geológicos, geomorfológicos e geotécnicos. São Paulo: Instituto de Pesquisas Tecnológicas, 1990. (Publicação IPT, 1773).

SHIMIZU, S. H.; VIEIRA, P. C.; MOSER, J. M. Solos. In: PROJETO Gerenciamento Costeiro: 3ª fase. Florianópolis: IBGE, DIGEO/SUL: Secretaria de Estado de Planejamento Orçamento e Gestão: Secretaria de Estado da Agricultura e Política Rural, 2003. 707 p.

\_\_\_\_\_. Solos e aptidão agrícola; síntese temática. In: IBGE. *Estudos ambientais da Grande Florianópolis*. Florianópolis : IPUF, 1997. 242 p.

SIGA JÚNIOR, O. *Domínios tectônicos do sudeste do Paraná e nordeste de Santa Catarina: geocronologia e evolução crustal*. 1995. 212 p. Tese (Doutorado)-Programa de Pós-Graduação em Geoquímica e Geotectônica, Instituto de Geociências, Universidade de São Paulo, São Paulo.

SON, N. H. A soft decision tree. In: SYMPOSIUM ON INTELLIGENT INFORMATION SYSTEMS, 2., 2002. *Proceedings*. p. 57-66.

SOTCHAVA, V. V. O estudo de geossistemas. Tradução de C. A. F. de Monteiro e D. A. Romariz. In: MÉTODOS em questão. São Paulo: Instituto de Geografia da Universidade de São Paulo, 1977. p. 16-52.

STAR, J.; ESTES, J. *Geographic information systems: an introduction*. New Jersey: Prentice Hall, 1990. 297 p.

TANGESTANI, M.H. A comparative study of Dempster-Shafer and fuzzy models for landslide susceptibility mapping using a GIS: An experience from Zagros Mountains, SW Iran. *Journal of Asian Earth Sciences*. Elsevier, v. 35, p. 66-73, 2009.

TEIXEIRA, A. L. de A. et al. Sistemas de Informação Geográfica: revisão e comentários. *Boletim de Geografia Teórica*, Rio Claro, v. 21, n. 41, p. 135-147, 1991.

TEUBNER JR., F. J. A utilização de SIGs para a definição de zoneamentos ambientais costeiros. In: CONGRESSO E FEIRA PARA USUÁRIOS DE GEOPROCESSAMENTO, Curitiba, 1994. Curitiba: SAGRES, 1994. p. 1-11. Meio Ambiente e Recursos Naturais.

TROYA, J. M. C. et al. Evolutionary design of fuzzy logic controllers. In: IEEE INTERNATIONAL SYMPOSIUM ON INTELLIGENT CONTROL, 1996, Dearborn, MI. *Proceedings...* Dearborn, MI, 1996. p. 127-132.

UFSC – CPGEC. *Diretrizes para apresentação de dissertações*. Florianópolis: Ed. da UFSC, 1997.

ZADEH, L. Fuzzy Sets. *Information and Control*, USA, v. 8, n. 3 p. 338-353, 1965.

ZADEH, L. A.; YAGER, R. R. *Fuzzy sets & applications*. New Jersey, John Wiley & Sons, 1987.

ZIMMERMANN, H. J. Fuzzy set theory – and its applications. 3. ed. USA: Kluwer Academic Publishers, 1996.

ZUQUETTE, L. V. Importância do mapeamento geotécnico no uso e ocupação do meio físico: fundamentos e guia para a elaboração. 1993. 246 p. Tese (Livre-Docência). Escola de Engenharia de São Carlos, Universidade de São Paulo, São Carlos.

